

Sujet de Thèse

Chaire TOPAZE

Contexte

Comportement viscoplastique et durabilité d'un superalliage base-Nickel γ/γ' à gradient de microstructure

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

Afin d'optimiser les performances des disques de turbines, notamment en termes de températures maximales de fonctionnement et de vitesses de rotation, des procédés de traitements thermiques spécifiques, dits « Dual », « Hybrid » ou « DMHT » (Dual Microstructure Heat Treatment) ont été développés pour introduire un gradient de taille de grain/de précipitation permettant de positionner « la bonne microstructure là où il faut » [1]. Ces gradients de microstructures conduisent donc à un gradient de propriétés mécaniques, qu'il s'agisse des propriétés en traction, en fluage et en fatigue, dont la prédiction par des modèles est cruciale pour évaluer l'intérêt que peuvent apporter de telles microstructures.

Ce travail a déjà été entrepris dans les travaux de thèse de Marco Panella [2,3], afin de prédire les propriétés en traction de l'AD730TM, en employant une approche de modélisation sensible à la distribution multimodale de taille de précipités et à la taille moyenne des grains. Néanmoins, ce travail de modélisation doit être poursuivi, notamment dans l'objectif de prévoir la durabilité en fluage. Une attention particulière devra être apportée aux zones de transition de taille de grain où des approches simples de modélisation ne suffisent pas à prévoir la durée de vie [2].

Les objectifs de ces travaux de thèse seront principalement de comprendre comment les évolutions de microstructure dans les zones de transition de disques duals affectent les propriétés en fluage. Pour ce faire, des essais de fluage et de traction/relaxation seront réalisés dans différentes positions radiales de disques duals élaborés en AD730TM (i.e. différentes tailles et/ou fraction de gros grains), dans une large gamme de températures (650°C – 900°C) et de contraintes appliquées. Ces essais seront notamment réalisés sur des éprouvettes spécifiquement prélevées dans la zone de transition de taille de grains, dont le comportement est alors celui d'une structure en raison du gradient de microstructure et de comportement associé. Les essais seront également conduits sur une version monogranulaire de cet alliage, afin de s'affranchir de la contribution des joints de grains aux mécanismes de déformation/d'endommagement de fluage, et ainsi, ne sonder que la contribution de la précipitation.

Dans la continuité des développements réalisés dans le cadre de la thèse de Marco Panella pour modéliser la limite d'élasticité et le comportement en traction monotone de l'AD730TM, le second volet de cette thèse portera sur la modélisation du comportement viscoplastique du monograin et du polycristal sensible à la microstructure afin d'en prédire la réponse en fluage. Ce travail s'appuiera sur une revue bibliographique des travaux existants et sur l'analyse des données expérimentales acquises pour identifier quels paramètres principaux de la loi de comportement sont sensibles à la microstructure et quel modèle mathématique permet d'en décrire la dépendance. Le comportement à l'échelle du polycristal sera également étudié en réalisant des simulations éléments-finis en champ complet de la réponse d'agrégat de grains, en présence d'un gradient de taille de grains [3] ou pas.

Cela permettra (i) d'une part de mieux comprendre le comportement macroscopique de l'alliage en fonction de sa microstructure (et donc de sa position dans un disque), en particulier dans la zone de transition de taille de grain et (ii) d'autre part de proposer des modèles de fluages macroscopiques pertinents pour investiguer le comportement d'un disque complet.

[1] H.T. Michel, L.S. Reda, G.E. Santos, J. Cormier, C. Dumont, P. Villechaize, P. Bocher, D. Texier, E. Georges, F. Bridier, F. Hamon, and A. Devaux. *Mechanical properties of cast & wrought hybrid disks. in Superalloys 2016. 2016. Seven Springs, Champion, PA, USA: TMS. p. 539-548.*

[2] M. Panella, L. Signor, J. Cormier, M. Bernacki, and P. Villechaize. *Experimental and Simulation Study of the Effect of Precipitation Distribution and Grain Size on the AD730TM Ni-Based Polycrystalline Superalloy Tensile Behavior. in Superalloys 2020. 2020. Seven Springs, PA, USA: TMS. p. 570-578.*

[3] M. Panella, *Prévision des propriétés mécaniques de superalliages base nickel en relation avec leur microstructure granulaire et de précipitation, PhD thesis, in Institut Pprime. 2021, ISAE-ENSMA: Poitiers, France.*

Profil – compétences recherchées

- Formation d'ingénieur ou master en mécanique des solides et des matériaux,
- Intérêt à la fois pour les approches de modélisation/simulation et les approches expérimentales,
- Rigueur et capacité à s'investir pleinement dans un sujet ; Aptitude au travail en équipe
- La maîtrise de la langue anglaise est indispensable
- De bonnes connaissances en métallurgie des superalliages seraient un atout indéniable

Equipe d'accueil et lieu

La thèse se déroulera principalement à l'institut Pprime à l'ISAE-ENSMA (près de Poitiers), avec des missions ponctuelles à prévoir à Safran Tech ou sur les sites de Safran. L'encadrement sera assuré par Patrick VILLECHAISE (DR-CNRS), Loïc SIGNOR (MCF-ENSMA) et Anne-Laure ROUFFIE (SAFRAN TECH).

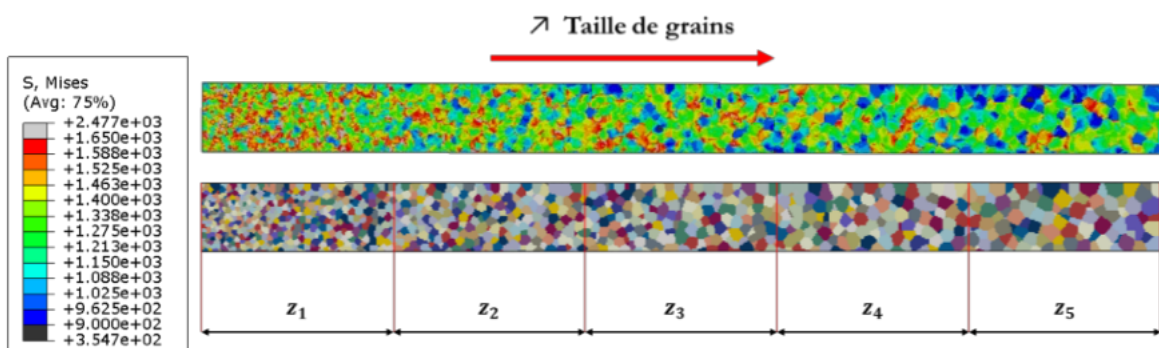
Techniques mises en oeuvre

Métallographie, traitements thermiques instrumentés, microscopie électronique à balayage, analyse d'images, essais de fluage sous air, développement de loi de comportement, simulations par éléments finis, programmation informatique

Dossier de candidature

Pièces à envoyer à loic.signor@ensma.fr et anne-laure.rouffie@safrangroup.com:

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



Simulation du champ de contrainte de von Mises sein d'un agrégat polycristallin présentant un gradient de taille de grain [3].