

# Sujet de Post-doc : Modélisation de la durée de vie en HCF/VHCF des superalliages base nickel monocristallins pour aubes de turbine

Encadrement : Dr. Jonathan Cormier (Institut Pprime), Pr. Yves Nadot (Institut Pprime) et Dimitri Marquie (Safran Aircraft Engines)

Post-doc se déroulant au sein de l'Institut Pprime, Département de Physique et de Mécanique des Matériaux, Axe Endommagement et Durabilité, à l'ISAE-ENSMA.

Les superalliages à base de nickel monogranulaires sont couramment employés pour la fabrication des aubes de turbine dans les parties les plus chaudes des moteurs aéronautiques. Leur microstructure est composée d'une forte fraction volumique de précipités  $\gamma'$  (structure intermétallique ordonnée  $L1_2$ ) cohérents avec la matrice  $\gamma$  (structure cristalline austénitique désordonnée) [1, 2]. Si leur microstructure, composition chimique et procédés d'élaboration ont été optimisées afin de leur conférer une très bonne tenue en traction et en fluage à chaud, leur emploi pour les aubages requière un dimensionnement en fatigue vibratoire (HCF/VHCF) tel qu'imposé par les autorités de certification (EASA/FAA) [3-5]. Ce travail de post-doc se positionne donc ce contexte, et sur la base des nombreux travaux réalisés à l'Institut Pprime/ISAE-ENSMA depuis 5 ans [6-13].

Les objectifs principaux du post-doc seront les suivants :

- Caractérisation de l'effet du gradient de contrainte en VHCF, notamment via :
  - La conception d'une éprouvette à gradient, capable d'essais ultrasonores à haute température
  - La mise au point d'un essai et de son instrumentation (notamment mesure de la température avec prise en compte de l'auto échauffement dans la zone à concentration de contrainte)
- Développement d'un modèle proposant, pour l'AM1, la prédiction des limites d'endurance aux rapports de charge où une interaction des phénomènes de fatigue et de fluage est rencontrée [10, 12], dans le type de chargement suivant :
  - Essai VHCF dans des conditions faisant entrer en compétition les phénomènes de fatigue et de fluage.
  - Essai VHCF sur éprouvette ayant subi un essai de fluage préalable (mise en radeaux), sur la base des connaissances déjà acquises au préalable [13].

Une contribution aux travaux suivants sera également réalisée :

- Exploitation d'essais VHCF pour une construction fiable des diagrammes de Haigh-Goodman. Une partie des essais seront faits sur éprouvettes nues, les autres sur éprouvettes ayant différents états de surface (sablage, grenailage, revêtement NiAlPt...).
- Caractérisation de l'influence de la température, en particulier identification de la température seuil où l'effet du temps disparaît, pour différents rapports de charge :
  - Essais spécifiques aux différents couples température/rapport de charge
  - Identification des mécanismes d'endommagement (analyse MEB)
- Instrumentation des moyens d'essais, pour caractérisation des effets de l'auto échauffements (travaux réalisés dans la cadre de la chaire industrielle ANR Self-Heating).

- Essais de VHCF sur CMSX4 SLS, visant à valider la représentativité du comportement de la nuance de CMSX4 utilisée par Safran Helicopter Engines, notamment sur les faibles rapports de charge.

Techniques mises en œuvre : calculs éléments finis, essais de fatigue HCF, essais de fatigue VHCF, métallographie, traitements thermiques, analyses par microscopie électronique à balayage.

Profil recherché : formation ingénieur aéronautique suivi d'un doctorat à dominante mécanique des matériaux et/ou métallurgie, avec un goût prononcé pour les approches expérimentales. La maîtrise de l'anglais est indispensable et des bonnes connaissances en métallurgie/comportement des superalliages seraient un atout indéniable.

Ces travaux seront menés en collaboration étroite avec Safran Aircraft Engines.



## Références associées :

1. T.M. Pollock and S. Tin, *Nickel-Based Superalloys for Advanced Turbine Engines: Chemistry, Microstructure, and Properties*. Journal of Propulsion and Power, 2006. **22**(2): p. 361-374.
2. R.C. Reed, *The Superalloys - Fundamentals and Applications*. 2006, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
3. A. Cervellon, *Propriétés en fatigue à grand et très grand nombre de cycles et à haute température des superalliages base nickel monogranulaires*, PhD thesis, in Institut Pprime. 2018, ISAE-ENSMA: Futuroscope-Chasseneuil.
4. L.M.B. Ormastroni, *Crack initiation mechanisms in the VHCF regime of Ni-based SX superalloys: impact of the processing route and of a coating*, PhD thesis, in Institut Pprime. 2021, ISAE-ENSMA: Futuroscope-Chasseneuil.
5. A. Cervellon, C.J. Torbet, and T.M. Pollock, *Crack initiation anisotropy of Ni-based SX superalloys in the very high cycle fatigue regime*. Material Science and Engineering A, 2021. **825**: p. 141920.
6. S. Utada, L.M.B. Ormastroni, J. Rame, P. Villechaise, and J. Cormier, *VHCF life of AM1 Ni-based single crystal superalloy after pre-deformation*. International journal of Fatigue, 2021. **148**: p. 106224.
7. A. Cervellon, L.M.B. Ormastroni, Z. Hervier, T.M. Pollock, F. Pedraza, and J. Cormier, *Damage mechanisms during very high cycle fatigue of a coated and grit-blasted Ni-based single-crystal superalloy*. International journal of Fatigue, 2021. **142**: p. 105962.
8. L.M.B. Ormastroni, S. Utada, J. Rame, L.M. Suave, K. Kawagishi, H. Harada, P. Villechaise, and J. Cormier. *Tensile, Low Cycle Fatigue and Very High Cycle Fatigue Characterizations of Advanced Single Crystal Nickel-Based Superalloys*. in *Superalloys 2020*. 2020. Seven Springs, PA, USA: TMS. p. 341-351.
9. L.M.B. Ormastroni, L.M. Suave, A. Cervellon, P. Villechaise, and J. Cormier, *LCF, HCF and VHCF life sensitivity to solution heat treatment of a third-generation Ni-based single crystal superalloy*. International journal of Fatigue, 2020. **130**: p. 105247.
10. A. Cervellon, J.Z. Yi, F. Corpace, Z. Hervier, J. Rigney, P.K. Wright, C.J. Torbet, J. Cormier, J.W. Jones, and T.M. Pollock. *Creep, Fatigue, and Oxidation Interactions During High and Very High Cycle Fatigue at Elevated Temperature of Nickel-Base Single Crystal Superalloys*. in *Superalloys 2020*. 2020. Seven Springs, PA, USA: TMS. p. 185-195.
11. A. Cervellon, S. Hémerly, P. Kürnsteiner, B. Gault, P. Kontis, and J. Cormier, *Crack initiation mechanisms during very high cycle fatigue of Ni-based single crystal superalloys at high temperature*. Acta Materialia, 2020. **188**: p. 131-144.
12. A. Cervellon, J. Cormier, F. Mauget, Z. Hervier, and Y. Nadot, *Very high cycle fatigue of Ni-based single crystal superalloys at high temperature*. Metallurgical and Materials Transactions A, 2018. **49A**: p. 3938-3950.
13. A. Cervellon, J. Cormier, F. Mauget, and Z. Hervier, *VHCF life evolution after microstructure degradation of a Ni-based single crystal superalloy*. International Journal of Fatigue, 2017. **104**: p. 251-262.

Contacts : Jonathan Cormier ([jonathan.cormier@ensma.fr](mailto:jonathan.cormier@ensma.fr)), Yves Nadot ([yves.nadot@ensma.fr](mailto:yves.nadot@ensma.fr)) et Dimitri Marquie ([dimitri.marquie@safrangroup.com](mailto:dimitri.marquie@safrangroup.com))