



# Mastère Spécialisé

## Design des Matériaux et des Structures

(DMS)

### OFFRE DE SUJET MASTERE DMS 2024/2025

#### Encadrement

---

Florent Coudon, Flavien Ghiglione, Ida Raoult, Hyung-Jun Chang (Safran Tech), Jean-Michel Scherer, Henry Proudhon (CDM - Mines Paris)

#### Titre

---

**Etude numérique de milieux à longueur interne pour la prise en compte d'effets de taille de grains dans le comportement cyclique de l'Inconel 718**

#### Contexte

---

Le comportement macroscopique des pièces métalliques est en grande partie piloté par la microstructure du matériau constitutif. Par exemple, on observe généralement une augmentation de la limite d'élasticité en fonction de l'inverse de la racine carrée de la taille des grains (loi de Hall-Petch). Les caractéristiques microstructurales étant fortement influencées par le procédé de mise en forme de la pièce, les performances des pièces aéronautiques, dont les disques de turbine, sont régies par la combinaison cas de chargement/procédés. En effet, la durée de vie en fatigue augmente de façon inverse avec la taille de grain, ce au prix d'une résistance au fluage réduite.

La fatigue des disques de turbine des moteurs d'avion comprend deux mécanismes concurrentiels : un amorçage en surface pour de fortes amplitudes de chargement et un amorçage en volume pour de plus faibles amplitudes, celui-ci ayant lieu préférentiellement sur de gros grains ou des inclusions. La transition entre ces deux régions s'avère limitante pour la durée de vie des disques de turbine puisqu'elle correspond au chargement de certaines zones critiques.

Les pratiques de dimensionnement actuelles sont basées sur une règle conservatrice pour la transition, ce qui impose de grosses marges de dimensionnement et limite fortement la possibilité d'emploi de nouvelles microstructures (par exemple, à distribution bimodale de taille de grains). La prise en compte des caractéristiques microstructurales dans les modèles de fatigue des disques de turbine s'avère donc nécessaire en vue d'optimiser les coûts et la masse de ces pièces.

#### Objectif et travail proposé

---

L'objectif de ce projet est d'établir une loi de comportement locale pour les superalliages à base Nickel type Inconel 718 DA basée sur la microstructure. Pour ce faire, des calculs éléments finis en plasticité cristalline isotherme seront menés sur des agrégats polycristallins synthétiques (cf Figure 1) ou issus de volumes reconstruits obtenus par tomographie/MEB-FIB lors d'études précédentes. La stratégie retenue pour la prise en compte « naturelle » des effets de taille de grain consiste en l'utilisation d'une loi de comportement adaptée. Pour cela, deux approches principales ont été identifiées :

- Les milieux généralisés, qui introduisent des degrés de liberté additionnels par rapport au milieu continu classique, tels que la plasticité cumulée (milieu micromorphe réduit à multiplicateur de Lagrange (Scherer, et al., 2020)), le tenseur densité de dislocation (modèles type CurlFp (Kaiser & Menzel, 2019)) ou des microrotations (milieu de Cosserat) ;

- Un pseudo champ de phase statique introduisant la notion de distance au joint de grain. Cela permet de rendre compte d'une différence de comportement (cission résolue critique par exemple) au voisinage du joint de grain et au cœur du grain. Une autre alternative pourrait être d'inclure une hétérogénéité locale du comportement non pas autour du joint de grain mais à l'intérieur du grain, par exemple en distribuant des cissions résolues critiques différentes le long de bandes parallèles aux plans de glissement (Gélébart, 2021).

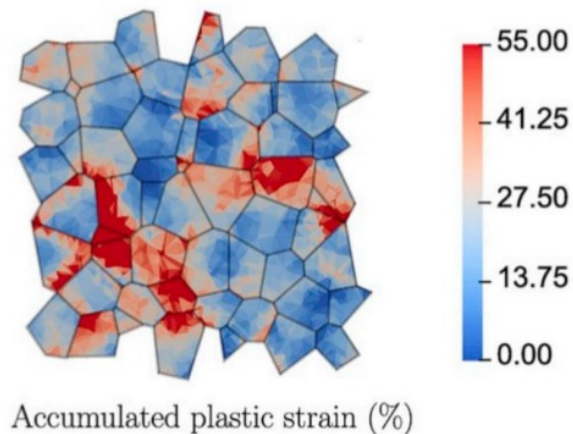


Figure 1 Champ de plasticité cumulée obtenu par simulation éléments finis en plasticité cristalline sur agrégat polycristallin (Faroq, Cailletaud, Forest, & Ryckelynck, 2020)

## Profil demandé

---

Un profil mécanique des matériaux et des structures avec une appétence pour la mécanique numérique et la mécanique des milieux continus. Des notions de programmation en C++ et Python est un gage de réussite dans la réalisation de ce projet.

## Références

---

- Faroq, H., Cailletaud, G., Forest, S., & Ryckelynck, D. (2020). Crystal plasticity modeling of the cyclic behavior of polycrystalline aggregates under non-symmetric uniaxial loading: Global and local analyses. *International Journal of Plasticity*, 102619.
- Gélébart, L. (2021). Grain size effects and weakest link theory in 3D crystal plasticity simulations of polycrystals. *Comptes Rendus. Physique*, 313-330.
- Kaiser, T., & Menzel, A. (2019). An incompatibility tensor-based gradient plasticity formulation—theory and numerics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 671-700.
- Scherer, J. M., Phalke, V., Besson, J., Forest, S., Hure, J., & Tanguy, B. (2020). Lagrange multiplier based vs micromorphic gradient-enhanced rate-(in) dependent crystal plasticity modelling and simulation. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*.