

# Sujet de Thèse

## Chaire Opale

### CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

PRÉVISION ET SIMULATION EF DU MACLAGE THERMIQUE PAR UNE APPROCHE EN CHAMP COMPLET - APPLICATION AUX SUPERALLIAGES À BASE NICKEL

La chaire industrielle OPALE, co-financée par l'ANR et le groupe Safran, porte sur l'optimisation des propriétés de superalliages à base nickel polycristallins par le contrôle de la microstructure issue de la mise en forme. Ces matériaux sont employés pour la fabrication de pièces de turboréacteurs en raison de leur tenue mécanique à haute température. Améliorer les performances de ces alliages permettra d'élever la température de fonctionnement des moteurs et d'en améliorer le rendement et contribuera ainsi à la réduction du coût énergétique et de l'impact écologique du transport aérien. La chaire OPALE réunit les compétences du CEMEF (MINES ParisTech, UMR CNRS 7635) concernant l'impact du procédé de mise en forme sur la microstructure et celles de l'Institut P' (ISAE-ENSMA, UPR CNRS 3346) pour l'impact de la microstructure sur les propriétés mécaniques en service. Neuf doctorants et cinq post-doctorants seront recrutés sur la période 2015-2018 pour aborder des aspects complémentaires. La chaire OPALE offre ainsi un cadre de travail collaboratif particulièrement riche.



### TRAVAUX DE THÈSE

L'évolution considérable des moyens de calcul, des méthodes numériques et des techniques expérimentales permet aujourd'hui d'avoir accès à l'information locale au cœur de la matière et de la modéliser. De nouvelles stratégies de modélisation commencent donc à apparaître où la physique considérée dans les simulations à l'échelle macroscopique se nourrit de simulations réalisées à l'échelle de la microstructure. Cette thématique en pleine expansion sera bientôt indispensable pour l'élaboration et la mise en forme des matériaux du futur. C'est dans cette thématique du "Matériau Numérique" que s'inscrit ce sujet de thèse.

Les macles sont des éléments microstructuraux présents dans les superalliages à base nickel et interviennent à la fois dans les mécanismes métallurgiques d'évolution microstructurale en mise en forme et dans le comportement du matériau en service. Il est donc essentiel de les prendre en considération dans les simulations numériques. Ce travail de thèse se concentrera sur l'amélioration d'un formalisme de type level-set, développé pour la modélisation en champ complet de la recristallisation et de la croissance de grains<sup>1,2</sup>, pour permettre la prise en compte des macles. Une partie du travail sera consacré à l'introduction de macles lors de la génération de polycristaux représentatifs en 3D. Une autre partie visera à modéliser l'apparition de macles lors de la recristallisation du matériau et l'impact des macles sur la cinétique de recristallisation elle-même.

Ce travail s'appuiera sur de nombreux développements récents réalisés au sein de l'équipe d'encadrement, tant du point de vue de la compréhension des mécanismes de maillage<sup>3,4</sup> que du point de vue de la simulation des mécanismes métallurgiques par des méthodes numériques avancées<sup>1,2</sup>.

Mines ParisTech  
 CEMEF rue Claude Daunesse CS 10207 06904  
 Sophia Antipolis, France  
 marc.bernacki@mines-paristech.fr  
 +33 (0)4 93 67 89 63  
 site web pour candidater

### MOTS-CLÉS

Modélisation EF - Métallurgie - Maillage thermique - Superalliages - Aéronautique

### PROFIL - COMPÉTENCES RECHERCHÉES

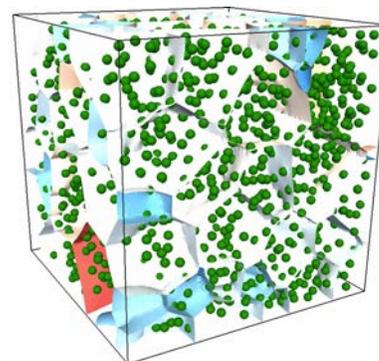
Formation d'ingénieur ou master en modélisation numérique / science des matériaux - Goût pour la recherche, le développement de méthodes numériques et la modélisation des phénomènes observés - Rigueur et capacité à s'investir pleinement dans un sujet - Aptitude au travail en équipe - La maîtrise de la langue anglaise est indispensable.

### LIEU ET PÉRIODE

La thèse sera effectuée au laboratoire Cemef de MINES ParisTech à Sophia-Antipolis et démarrera le 01/10/2016.

### EQUIPE

La thèse se déroulera dans l'équipe Métallurgie Structure Rhéologie - MSR sous la direction de Marc Bernacki (professeur en métallurgie numérique) et de Nathalie Bozzolo (professeur en métallurgie physique et titulaire de la chaire ANR-Safran OPALE).



Modélisation EF 3D d'un cas de croissance de grains dans un superalliage base nickel (sans prise en compte des macles thermiques) - B. Scholtes PhD

[1]B. Scholtes et al., Computational Materials Science, 109:388-398, 2015. [2]Y. Jin et al., Computational Materials Science, 104:108-123, 2015. [3]Y. Jin et al., Journal of Materials Science, 50(15):5191-5203, 2015. [4]Y. Jin et al., Metals, 6(1):5, 2016.