

# Sujet de Postdoctorat

## Chaire Opale

### CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

PRISE EN COMPTE DANS UN FORMALISME LEVEL-SET DES PRÉDICTIONS INTRAGUNALAIRES EN PLASTICITÉ CRISTALLINE DANS LA CINÉTIQUE DE RECRISTALLISATION

La chaire industrielle OPALÉ, 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 OPALÉ 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 OPALÉ offre ainsi un cadre de travail collaboratif particulièrement riche. Depuis 20 ans, différentes méthodes de simulation explicite des mouvements des joints de grain ont été développées. L'une de ces approches, développée dans un cadre éléments finis (EF) et reposant sur une description level-set (LS) des interfaces permet de modéliser les phénomènes de ReX et de croissance de grains (GG). Ce travail de postdoctorat sera consacré à l'amélioration de la méthodologie champ complet développée afin de modéliser plus finement la prise en compte des hétérogénéités intragranulaires de déformation dans la modélisation de la recristallisation.



### TRAVAUX DU POSTDOCTORAT

Dans le cadre d'une approche dite immergée (contexte EF-LS), le travail de postdoc (d'une durée de 18 mois) sera consacré à l'amélioration du formalisme champ complet existant concernant la modélisation de la recristallisation primaire. Typiquement, à l'heure actuelle, la force motrice est définie par les gradients d'énergies stockées lors de la déformation et repose sur une valeur hétérogène mais moyennée par grain de ces énergies stockées. Cette hypothèse est schématisée par la Figure (a). Un des principaux objectifs du postdoc sera de lever ce verrou numérique dans un cadre LS pour mieux prendre en compte la réalité des microstructures polycristallines déformées comme illustré par la Figure (b). Une des difficultés résidera dans la conservation d'une résolution stabilisée convective et diffusive (pour la prise en compte de la force motrice capillaire) comme cela est actuellement préconisé pour la modélisation de la recristallisation et de la croissance de grains dans un cadre LS<sup>1-5</sup>. Une loi de cinétique de précipitation (établie par ailleurs dans le cadre de la chaire Opale) pourra être couplée à ces calculs de plasticité cristalline pour prédire les hétérogénéités de précipitation potentiellement induites par une distribution hétérogène de l'énergie stockée.

Mines ParisTech  
 CEMEF rue Claude Daunesse CS 10207 06904  
 Sophia Antipolis, France  
 nathalie.bozzolo@mines-paristech.fr (Titulaire de la Chaire)  
 marc.bernacki@mines-paristech.fr  
 +33 (0)4 93 67 89 45 – +33 (0)4 93 67 89 23  
 site web pour candidater

### MOTS-CLÉS

Modélisation éléments finis – métallurgie – microstructure – approche level-set.

### PROFIL – COMPÉTENCES RECHERCHÉES

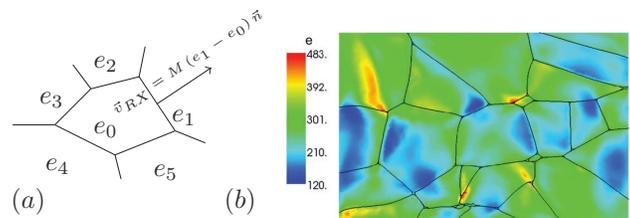
Modélisation éléments finis – métallurgie – développement en C++ – bon niveau d'anglais – travail en équipe pluridisciplinaire dans le cadre d'un projet collaboratif.

### LIEU

Le postdoc sera effectué au laboratoire Cemef de l'Ecole des Mines de Paris à Sophia-Antipolis.

### EQUIPE

Le postdoc se déroulera dans les équipes Métallurgie Structure Rhéologie – MSR et Modélisation Multi-échelles – MSM sous la direction de Marc Bernacki.



(a) Représentation schématique classique du formalisme LS pour la prise en compte des énergies stockées dans la cinétique de ReX et (b) coupe du résultat d'un calcul CPFEM 3D sur 304L illustrant l'hétérogénéité intragranulaire du champ d'énergie stockée.

[1] M. Bernacki et al., Scripta Mat. 58 (2008) 1129. – [2] M. Bernacki et al., Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. 17 (2009) 064006. – [3] M. Bernacki et al., Scripta Mat. 64 (2011) 525. – [4] A.-L. Fabiano et al., Comput. Mater. Sci. 92 (2014) 305. – [5] A. Agnoli et al., Comput. Mater. Sci. 89 (2014) 233.