

# Proposition de projet

Année 2020-2021

Mastère Spécialisé DMS

## Encadrement

---

S. Forest, K. Ammar (Mines-ParisTech), C. MAI, G. Monnet (EDF)

## Titre

---

### **Modélisation de l'effet d'irradiation sur la plasticité cristalline de l'acier des cuves des réacteurs nucléaires**

## Mots-clés

---

plasticité cristalline, implémentation numérique, simulation éléments finis, validation expérimentale

## Contexte et objectifs

---

La production d'électricité d'origine nucléaire est incontournable dans la lutte contre le changement climatique du fait qu'elle n'émet pas de gaz à effet de serre. Face à cet enjeu, la prolongation de la durée de fonctionnement des centrales nucléaires représente donc un objectif fort pour EDF. En particulier, pour permettre la justification de la tenue mécanique des cuves des réacteurs au-delà de 40 ans, EDF R&D développe des modèles de prévision de l'effet de l'irradiation sur l'évolution du comportement de l'acier constitutif des cuves. C'est à l'échelle de la microstructure du matériau que cet effet peut être décrit finement à l'aide de modèles de plasticité cristalline. En particulier, des modèles dits « à base physique » décrivent les mécanismes de glissement des dislocations à l'origine de la plasticité en se basant sur l'évolution de grandeurs physiques intrinsèques au matériau [1]. L'implémentation numérique de ces modèles et leur validation expérimentale restent néanmoins complexes à réaliser et requièrent les dernières avancées à la fois en terme d'outils de simulation et de techniques de mesure.

L'objectif principal de ce stage est de proposer une implémentation numérique de la loi de plasticité cristalline dernièrement développée pour prendre en compte l'effet de l'irradiation de l'acier de cuves, une validation expérimentale et une optimisation des performances numériques de la modélisation. Le stage vise à faire le lien entre les développements théoriques de la loi de comportement et sa mise en œuvre dans des calculs d'agrégats polycristallins dans un code d'éléments finis. Il bénéficiera ainsi du savoir-faire des chercheurs de chacun de ces domaines ainsi que des mesures micro-mécaniques de pointes (essais in situ avec suivi par imagerie MEB et EBSD) et des dernières solutions de calcul HPC disponibles à EDF R&D.

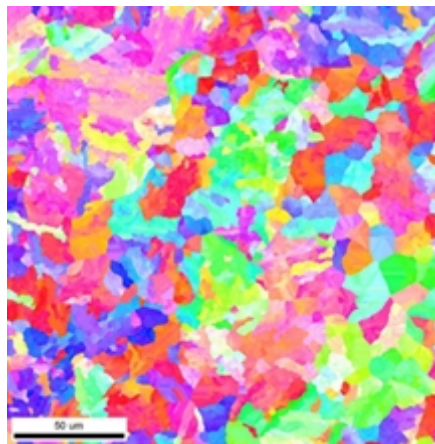


Figure 1: Microstructure de l'acier de cuves

## Travail proposé

---

Pour répondre à cet objectif, plusieurs étapes sont proposées dans l'ordre suivant :

- Etude bibliographique et prise en main du code MFront.
- Implémentation dans le langage MFront de la dernière version des équations de la loi de plasticité cristalline avec un schéma d'intégration implicite en temps ;
- Validation de l'implémentation de la loi par une méthode d'homogénéisation à l'aide de l'outil MTest ou du code d'éléments finis code\_aster pour différentes températures et différents niveaux d'irradiation à partir des bases de données de traction disponibles ;
- Valider et optimiser les performances de l'implémentation de la loi à l'aide de calculs d'agrégats polycristallins mis en œuvre avec code\_aster et de comparaisons à des mesures de champs déjà réalisées au cours d'essais de traction in situ ;

Si le temps le permet, implémentation et validation d'une écriture non-locale de la loi cristalline, basée sur les travaux récents de [2] et capable de prendre en compte les hétérogénéités de déformation au voisinage des joints de grains. Pour simplifier le problème, on pourra commencer dans un premier temps par une implémentation pour les aciers à structure cubique à faces centrées.

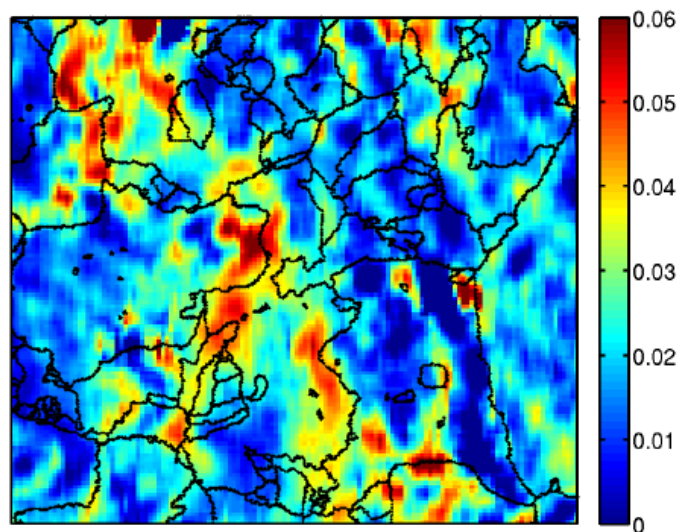


Figure 2: Champ de déformation mesuré sur une éprouvette soumise à la traction

## Références bibliographiques

---

- [1] G. Monnet, L. Vincent, B. Devincré, « Dislocation-dynamics based crystal plasticity law for the low-and high-temperature deformation regimes of bcc crystal », Acta Materialia 61 (16), 6178-6190, 2013
- [2] M. Jiang, B. Devincré, G. Monnet, « Effects of the grain size and shape on the flow stress: A dislocation dynamics study », International Journal of Plasticity 113, 111-124, 2019