

Offre de thèse

CONTEXTE ET OBJECTIFS

MODÉLISATION MULTI-ÉCHELLE DES MÉCANISMES DE RESTRUCTURATION DU COMBUSTIBLE UO₂ À FORT TAUX DE COMBUSTION

Dans les combustibles nucléaires, lorsque l'accumulation des défauts d'irradiation est accompagnée d'une possibilité limitée de restauration, un changement profond peut se produire dans la microstructure. Les grains micrométriques sont progressivement remplacés par des grains nanométriques vierges entourés par des pores micrométriques de forme sphérique. Cette nouvelle microstructure, appelée High Burnup Structure (HBS), impacte le comportement du combustible nucléaire sous irradiation, en modifiant des propriétés importantes du combustible, telles que la conductivité thermique et les propriétés élastiques.

La nouvelle porosité associée à la HBS induit un gonflement supplémentaire du combustible, aggravant l'interaction mécanique pastille-gaine, et peut engendrer le relâchement du gaz de fission stocké dans des transitoires accidentels, notamment dans des accidents de perte de réfrigérant primaire (APRP) ou des accidents d'insertion rapide de réactivité (RIA), pouvant compromettre l'intégrité du crayon.

Ce travail de thèse vise à identifier les mécanismes à l'origine de la restructuration du combustible à base d'oxyde d'uranium, en utilisant une combinaison d'analyse critique de données expérimentales pré-existantes, d'études théoriques et numériques avec l'objectif de développer un modèle pour la formation de la HBS et de l'inclure dans la plateforme de simulation du combustible nucléaire sous irradiation du CEA, PLEIADES.

Les trois étapes importantes de la thèse seront :

- Une révision critique de la littérature ouverte et interne au CEA, pour analyser et interpréter les résultats à utiliser dans le travail de thèse.
- Le développement d'un modèle pour l'évolution des défauts ponctuels dans l'oxyde d'uranium sous irradiation, qui décrit l'évolution des quantités d'intérêt à l'échelle microscopique, notamment la concentration de boucles et lignes de dislocations. Son inclusion dans un outil de calcul scientifique de la plateforme PLEIADES est aussi envisagé.
- L'utilisation (et potentiellement l'amélioration) des outils numériques champ complet développés au CEMEF MINES Paris, concernant la simulation de la recristallisation en présence de pores évolutifs appliquée à la restructuration du combustible en HBS, en exploitant les résultats issus des items précédents réalisés au CEA.

- Toutes les étapes du travail seront complétées par une comparaison systématique aux résultats expérimentaux et, in fine, le modèle sera utilisé pour l'analyse du combustible des Small Modular Reactors (SMRs) calogènes en cours de développement au CEA.

Les résultats obtenus dans la thèse seront l'objet de présentations en conférences à l'internationale (par exemple, NuMat – The Nuclear Materials Conference, MMM – Multiscale Materials Modeling Conference, MiNES – Materials in Nuclear Energy Systems), ainsi que de publications dans des journaux scientifiques internationaux.

Au sein de l'institut IRESNE (CEA Cadarache), le candidat rejoindra une communauté scientifique pluridisciplinaire sur les matériaux (physique du solide, thermique, mécanique, mathématiques appliquées, thermochimie, thermodynamique) et ouverte à la fois sur la recherche internationale et le monde industriel, aura l'opportunité d'échanger avec des experts impliqués dans les différents étapes de la conception d'un réacteur nucléaire et utilisera des simulations numériques de pointe à petites et grandes échelles.

Le candidat intégrera également l'équipe du directeur de thèse à Sophia-Antipolis au laboratoire CEMEF de MINES Paris ou il aura accès aux outils éléments finis développés pour la simulation de la recristallisation en milieu multiphasés.

CEA Cadarache
Saint-Paul-lez-Durance, France
MINES Paris
CEMEF rue Claude Daunesse CS 10207 06904
Sophia Antipolis, France
tommaso.barani@cea.fr,
marc.bernacki@minesparis.psl.eu
0442252621, 0493678923

FORMATION RECOMMANDÉE

Master en Physique ou matériaux, Ecole d'ingénieur.

EQUIPE ENCADRANTE

Dr Tommaso Barani, Dr Fabien Bernachy-Barbe, Prof. Marc Bernacki (directeur de thèse) et Dr Charbel Moussa.