



## Simulation de l'amorçage et de la propagation de la fissuration dans des matériaux hétérogènes aléatoires

DEC/SESC/LMCP

**Ce sujet de thèse s'intéresse à la fissuration des combustibles nucléaires à l'échelle de la microstructure, phénomène essentiel à comprendre pour modéliser le comportement des matériaux sous irradiation.**

L'amorçage et la propagation de fissures peuvent entraîner le relâchement de gaz de fission et la formation de fragments susceptibles de déplacer la matière fissile. Les modèles actuels reposent sur des représentations simplifiées de la microstructure poreuse, et des critères de rupture empiriques, ce qui limite leur précision physique et leur validation par effets séparés.

Pour dépasser ces limites, le travail de thèse proposé consiste à s'appuyer sur des approches multi-échelles et des simulations par éléments finis en calcul parallèle haute performance (HPC). Les objectifs principaux sont d'arriver à définir un Volume Élémentaire Représentatif (VER) pour l'amorçage de la fissuration dans des matériaux à porosité aléatoire, améliorer les critères de rupture utilisables dans les codes de calculs et définir leurs incertitudes, et enfin établir le domaine de validité pour l'analyse de la propagation dans le VER.

Le premier axe de recherche consiste à définir rigoureusement la taille du VER à partir de grandeurs locales comme la contrainte principale maximale. Des méthodes de réduction de variance seront utilisées pour optimiser le nombre de calculs nécessaires et estimer les erreurs associées.

Dans un second temps, les simulations réalisées pour déterminer le VER serviront à améliorer les modèles opérationnels. L'approche cherchera à séparer l'effet mécanique d'une bulle isolée de celui des interactions entre bulles voisines. Des techniques de Machine Learning pourront être utilisées pour développer ce nouveau modèle. La validation s'appuiera sur

des mesures indirectes de la fissuration, comme le relâchement gazeux observé lors de recuits thermiques, notamment pour des combustibles à haut taux de combustion (HBS), où les modèles classiques échouent à prédire la cinétique de fissuration.

Enfin, la propagation des fissures à l'intérieur du VER sera étudiée par des simulations 3D de type champ de phase, permettant de représenter finement les différentes étapes de propagation post-amorçage. L'influence des conditions aux limites du VER sera examinée par comparaison à des simulations sur des domaines plus larges.

La thèse se déroulera dans l'équipe de développement de la plateforme numérique PLEIADES, spécialiste de la simulation du comportement du combustible et des méthodes numériques multi-échelles. Elle sera réalisée en collaboration avec le CNRS/LMA dans le cadre du laboratoire commun MISTRAL, notamment sur les aspects analyse de la représentativité du milieu aléatoire et simulation micromécanique de la propagation des fissures.

### Références

[1] L. Belgrand, I. Ramière, R. Largeton, F. Lebon, *Mathematics* 10 (23), 4437 (2022).

[2] S. Brisard, M. Bertin, F. Legoll, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 417 (2023) 116389.

[3] C. Esnoul, Thèse de doctorat, Aix Marseille Université, 2018. <http://www.theses.fr/s111452>.

### ■ Formation recommandée :

Master II ou école d'ingénieur en mécanique numérique

### ■ Ecole doctorale :

ED 353- Sciences de l'ingénieur

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

Novembre 2026

### ■ Lieu :

CEA Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

BRISARD Sébastien (LMA)

RAMIERE Isabelle (CEA)

MICHEL Bruno (CEA)

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

RAMIERE Isabelle

[Isabelle.ramiere@cea.fr](mailto:Isabelle.ramiere@cea.fr)

