

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Monsieur Julien LABAT est autorisé à présenter ses travaux en vue de l'obtention du diplôme national de DOCTORAT délivré par l'école CENTRALE MARSEILLE

Le 13 décembre 2022, à 13h30

Lieu : Amphithéâtre François CANAC, Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique
CNRS, 4 Impasse Nikola Tesla, CS 40006, 13453 Marseille Cedex 13, France

Titre : : **Identification multiéchelle et réduction par NTFA du comportement élasto viscoplastique polycristallin du dioxyde d'uranium (UO₂) en condition d'insertion de réactivité**

École doctorale : **ED 353 SCIENCES POUR L'INGENIEUR : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique**

Spécialité : **Mécanique des Solides**

Rapporteurs

Monsieur Renald BRENNER, Directeur de recherche, Institut d'Alembert Paris, France.
Monsieur Yann MONERIE, Professeur des universités, Université de Montpellier, France.

Membres du Jury

Monsieur Renald BRENNER, Directeur de recherche, Institut d'Alembert Paris, France.
Monsieur Yann MONERIE, Professeur des universités, Université de Montpellier, France.
Madame Carole NADOT- MARTIN, Professeur des universités, ENSMA Poitiers, France.
Monsieur Jean-Claude MICHEL, Directeur de recherche, LMA Marseille, France.
Monsieur Rodrigue LARGENTON, Ingénieur-chercheur expert EDF R&D, CEA Cadarache, France.
Monsieur Bruno MICHEL, Directeur de recherche, CEA Cadarache, France.
Monsieur Pierre-Guy VINCENT, Ingénieur-chercheur IRSN, CEA Cadarache, France (invité)

Résumé (FR)

Les études de sûreté nucléaire, réalisées avec des codes industriels de simulation du comportement thermomécanique du crayon combustible, nécessitent des temps de calcul raisonnables afin de simuler tous les scénarios possibles et envisageables au sein d'un Réacteur à Eau Pressurisée (REP). Au-delà du comportement effectif de la pastille combustible, il est parfois intéressant de descendre en échelle pour étudier des phénomènes locaux. Une première approche consisterait à effectuer une résolution Élément Finis au carré (EF2) où dans un premier maillage défini à l'échelle de la pastille est résolu à chaque point d'intégration un problème thermomécanique sur un Volume

Élémentaire Représentatif. Ceci est coûteux en temps de calcul, ce qui n'est pas envisageable au sein des codes industriels. Il est alors envisagé de remplacer la deuxième résolution par une méthode de réduction de modèle, basée sur l'approche Nonuniform Transformation Field Analysis (NTFA). Cette méthode permet l'accès aux grandeurs macroscopiques et aux champs locaux tout en réduisant radicalement les temps de simulation.

Cette étude présente une modélisation micromécanique du comportement du combustible de dioxyde d'uranium (UO₂), céramique polycristalline utilisée dans les REP, pour des sollicitations typiques d'un accident d'insertion de réactivité (RIA). Au-delà d'une certaine température, l'UO₂ a un comportement élasto-viscoplastique avec écrouissage dépendant des conditions de sollicitation en température et vitesse de déformation macroscopique. Dans un premier temps, via l'approche en champ complet, une identification inverse de la loi d'évolution locale monocristalline est réalisée à partir de données expérimentales obtenues à l'échelle locale puis macroscopique. Dans un deuxième temps, le modèle NTFA TSO (Tangent Second Order) est développé et appliqué au problème en question. Deux décompositions de la variable d'écrouissage sont étudiées. Ensuite, un travail est effectué pour intégrer les conditions de sollicitations, à savoir températures et vitesses de déformation spécifiques au RIA, dans le modèle NTFA. Enfin, les résultats issus de l'expérimental, du modèle en champ complet et du modèle NTFA TSO sont confrontés aux échelles macroscopique et locale pour des chargements uniaxiaux, triaxiaux et quelconques.

Mots clés : élasto-viscoplasticité, réduction de modèle NTFA, polycristal, micromécanique, identification inverse, dioxyde d'uranium UO₂

Abstract (EN)

Industrial codes designed for the simulation of the thermomechanical behaviour of the fuel rod are used for nuclear safety studies. It requires reasonable computational times in order to simulate all scenarios within a Pressurized Water Reactor (PWR). Beyond the macroscopic behaviour of the fuel pellet, it is sometimes interesting to go down in scale to study local phenomena. A first approach would be to perform a Finite Element Method squared to two (FEM²) resolution. It consists to solve a thermomechanical problem on a first mesh defined at the pellet scale where at each integration point is solved another thermomechanical problem on a Representative Elementary Volume. This is time consuming, which is not conceivable within industrial codes. It is then studied to replace the second resolution by a model reduction method based on the Nonuniform Transformation Field Analysis (NTFA) approach. This method allows access to macroscopic quantities and local fields while drastically reducing the computational time.

This study presents a micromechanical modelling of the behaviour of uranium dioxide fuel (UO₂), a polycrystalline ceramic used in PWRs, for loading condition typical of a reactivity initiated accident (RIA). Above a specific temperature, UO₂ has an elasto-

viscoplastic behaviour with strain hardening depending on the temperature and macroscopic strain rate. In a first step, via a full-field approach, an inverse identification of the local single crystal evolution law is performed based on experimental data obtained at the local and then at the macroscopic scales. In a second step, the NTFA TSO (Tangent Second Order) model is developed and applied to the problem at hand. Two decompositions of the strain hardening variable are studied. Then, work is done to integrate the specific loading conditions, i.e. temperatures and strain rates of the RIA, into the NTFA model. Finally, the results from the experimental, full-field and NTFA TSO models are compared at the macroscopic and local scales for uniaxial, triaxial and arbitrary loading.

Keywords: elasto-viscoplasticity, model reduction NTFA, polycrystal, micromechanics, inverse identification, dioxide of uranium UO₂