

# Modélisation des effets de l'endommagement dans les milieux hétérogènes viscoélastiques – simulation du comportement des combustibles MOX

Vincent GAUTHIER<sup>1</sup>; Mihail GARAJEU<sup>2</sup>; Renaud MASSON<sup>1</sup>, Bruno MICHEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CEA, DEN/DEC, Centre de Cadarache, 13 115 Saint Paul lès Durance, France.

<sup>2</sup>Laboratoire de Mécanique et d'acoustique (LMA), 4 Impasse Nikola Tesla, 13013 Marseille, France.

**Mots clés** : MOX ; endommagement ; changement d'échelle.

Le MOX (Mixed oxydes) est un combustible nucléaire au même titre que l'uranium enrichi utilisé dans certains réacteurs français. Ce combustible est un mélange d'oxyde d'uranium et d'oxyde de plutonium. Avec le procédé actuel de fabrication, le MOX est un matériau hétérogène triphasé de type inclusionnaire dont les différentes phases ont une teneur en plutonium différente.

La simulation du comportement sous irradiation du combustible s'appuie sur une approche multi-physique dans laquelle les contraintes internes résultant des gonflements différentiels induits par l'irradiation sont modélisées par une approche d'homogénéisation tenant compte des déformations viscoplastiques apparaissant dans les phases [1]. Dans le cadre de ce travail de thèse, nous souhaitons à présent étendre cette modélisation par homogénéisation à l'endommagement fragile des phases, endommagement susceptible d'apparaître en situation accidentelle.

La première approche étudiée représente l'endommagement des phases avec le modèle de fissuration [2] développé antérieurement pour représenter le comportement fragile des pastilles combustibles. Dans ce modèle appliqué à présent à l'échelle des phases du MOX, la fissuration est représentée par une déformation de fissuration qui s'ajoute aux autres déformations inélastiques. En première approche, le changement d'échelle est effectué en considérant que cette déformation de fissuration moyenne par phase est pilotée par la moyenne des contraintes dans la phase considérée. La linéarisation du comportement est effectuée soit par une approche de type Kröner [3] (déformation de fissuration assimilée à une déformation libre) soit de type Hill [4] (linéarisation de la vitesse de déformation associée à la fissuration). Ensuite, pour obtenir le comportement au niveau macroscopique, on utilise le modèle de Mori-Tanaka. Ces deux approches sont comparées en considérant un élément de volume libre à son bord et constitué d'une seule famille d'inclusion à laquelle on impose un gonflement différentiel. Dans le cas élastique – fragile, les prédictions obtenues avec les deux modèles sont ici comparées (amorçage, propagation), ce qui conduit d'ores et déjà à des premiers enseignements.

## **Références.**

[1] Seck, M. (2018). "Modélisation du comportement effectif de milieux hétérogènes, viscoélastiques, non linéaires et vieillissants; application à la simulation des combustibles". Thèse AMU.

[2] Michel, B., Helfer, T., Ramière, I. et Esnoul, C. (2018) " A new numerical methodology for simulation of unstable crack growth in time independent brittle materials" Engineering Fracture Mechanics, 188, 126-150, 201

[3] E.Kröner. (1961). "Zur plastischen Verformung des Vielkristalls", Acta.Metall.Mater., Volume9,pp.155-161.

[4] R.Hill. (1965). Continuum micro-mechanics of elastoplastic polycrystals. J.Mech.Phys.Solids Volume 13, pp.89-101.