

MODÉLISATION MICROMÉCANIQUE DE LA RUPTURE DUCTILE PAR UNE APPROCHE COHÉSIVE-VOLUMIQUE

N.B. Nkoumbou Kaptchouang^{a,b}, Y. Monerie^{b,c}, P.-G. Vincent^{a,b}

^a IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, B.P. 3, 13115 Saint-Paul-lez-Durance Cedex, France,

^b MIST : Laboratoire de Micromécanique et Intégrité des Structures, IRSN-CNRS-Univ. Montpellier, France
noe-brice.nkoumboukaptchouang@irsn.fr, pierre-guy.vincent@irsn.fr

^cLMGC, Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil, Univ. Montpellier, CNRS, CC 048, 34095 Montpellier Cedex, France,
yann.monerie@umontpellier.fr

Mots-clés : Micromécanique, rupture ductile, zone cohésive, simulation numérique, dioxyde d'Uranium, modèle GTN

Résumé

Le contexte de ce travail est relatif à la modélisation et à la simulation numérique de l'endommagement ductile du combustible nucléaire UO_2 à haute température (> 1200 °C). La démarche globale de modélisation et de simulation adoptée repose sur une approche aux éléments finis cohésifs-volumiques couplant comportements volumiques durcissant et conditions de saut décrivant le processus d'endommagement et de rupture du matériau. De nombreux modèles de zones cohésives ont été proposés dans la littérature pour la simulation de la rupture fragile. En revanche, l'application des modèles de zones cohésives à la simulation de la rupture ductile reste encore un domaine relativement ouvert. Une approche possible consiste à déterminer la loi cohésive à partir du comportement d'un élément de matière représentatif du matériau considéré. Différents auteurs [1, 2] ont ainsi identifié numériquement des lois cohésives sur des simulations du comportement d'une cellule unitaire homogène avec un modèle d'endommagement ductile de type Gurson, modèle poro-mécanique [3].

Dans la continuité de ces approches, un modèle analytique de zone cohésive pour les matériaux ductiles via une approche micromécanique est proposé. L'endommagement ductile est lié à l'évolution des phases poreuses qui induit éventuellement une localisation des déformations plastiques dans une bande avant la rupture finale du matériau. Cette zone de localisation des déformations est considérée comme la zone d'élaboration de la fissure et est traitée par une modélisation cohésive. Le modèle de zone cohésive qui en résulte est déterminé via une synthèse du modèle d'endommagement ductile volumique de Gurson-Tveergaard-Needleman (GTN) [4] sous forme d'un comportement surfacique en exploitant les relations cinématiques de [5]. Ce nouveau modèle de zone cohésive permet d'une part de retrouver avec un bon accord la réponse d'une cellule unitaire avec un comportement de type GTN et d'autre part de prendre en compte l'influence de la direction du chargement au voisinage de la fissure (triaxialité en contrainte ou en déformation) dans le comportement à rupture. Le traitement numérique de ce modèle de zone cohésive est réalisé dans le cadre d'une formulation éléments finis multicorps [6] dans laquelle la loi cohésive représente une condition aux limites mixte entre éléments finis. Ce formalisme permet d'un point de vue numérique de modéliser finement la fissuration, tout en gérant les non-régularités pouvant être issues des problèmes de contact post-rupture.

Références

- [1] V. Tvergaard and J.W. Hutchinson. *The relation between crack growth resistance and fracture process parameters in elastic-plastic solids*. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 40 :1377–1397, 1992.
- [2] T. Siegmund and W. Brocks. *Prediction of the Work of Separation and Implications to Modeling*. International Journal of Fracture, 99 :97–116, 1999.
- [3] A. L. Gurson. *Continuum Theory of Ductile Rupture by Void Nucleation and Growth : Part I—Yield Criteria and Flow Rules for Porous Ductile Media*. Journal of Engineering Materials and Technology, 99 :2–15, 1977.
- [4] V. Tvergaard and A. Needleman. *Analysis of the cup-cone fracture in a round tensile bar* Acta Metallurgica, 32(1) : 157–169, 1984.
- [5] P. M. Suquet. *Discontinuities and Plasticity* Nonsmooth Mechanics and Applications, 279–340, 1988.
- [6] F. Perales, F. Dubois, Y. Monerie, B. Piar, L. Stainier. *A NonSmooth Contact Dynamics-based multi-domain solver*. European Journal of Computational Mechanics, 19(4) :389–417, 2010.