

## Approches par maillage conforme pour la mécanique non-linéaire de la rupture : méthode G- $\theta$ et modèle de zone cohésive

V. Chiaruttini, F. Feyel

*Onera, DMSM/CEMN, Châtillon, France, {vincent.chiaruttini, frederic.feyel}@onera.fr*

---

Le développement de méthodes robustes pour l'étude de la fissuration de composants industriels est d'une importance cruciale dans un large domaine d'applications (aéronautique, automobile, génie civil, etc.). Par exemple, l'optimisation des intervalles inter-inspections dans les moteurs aéronautiques requiert la connaissance précise des éventuelles évolutions de défauts non-détectés. Pour mener à bien cet objectif, il est nécessaire de disposer à la fois de modélisations fines de ces problèmes et d'outils numériques efficaces capables de mener les simulations numériques utiles à la prévision de l'évolution de ce type de défauts. Concernant ce second aspect, une difficulté toute particulière est concentrée dans le processus requis pour discrétiser convenablement la géométrie d'une fissure en évolution et permettre le calcul des grandeurs d'intérêt à proximité du front de fissure.

De nombreuses approches sont disponibles pour traiter efficacement les problèmes de mécanique linéaire de la rupture (basées par exemple, sur la méthode X-FEM [1] ou des techniques par maillage conforme[2]). Néanmoins, une fois la discrétisation du problème de structure fissurée obtenu, le passage vers la simulation numérique de fissure dans un matériau non élastique reste problématique. En effet, plusieurs points doivent alors être pris en compte : d'une part, sur la modélisation elle-même, pour savoir quelle loi de propagation utiliser et quelles grandeurs deviennent significatives de l'évolution du front de fissure en milieu dissipatif, d'autre part, sur la résolution numérique du problème, comment discrétiser une entaille d'épaisseur fine ou régulariser le problème en pointe de fissure, quelle stratégie adopter pour assurer la conservation de la connaissance des variables internes au cours de la propagation, etc.

Les travaux que nous menons nous ont permis d'explorer deux voies pour mener à bien des simulations de fissuration tridimensionnelle dans des matériaux en présence de phénomènes de plasticité généralisée. La première stratégie peut apparaître comme une forme d'extension du cadre de la mécanique linéaire de la rupture. Il s'agit d'utiliser les expressions obtenues par la méthode G- $\theta$  [3] dans le cadre de matériaux standards généralisés, où la plasticité est prise en compte à l'aide d'une loi d'écoulement et d'une fonction seuil [4]. Nous proposons dans ce cadre de discrétiser suffisamment finement la géométrie des structures à proximité du front de fissure pour représenter l'émoussement et régulariser les champs de déformations dans cette zone et ainsi contourner le paradoxe de Rice [5]. La seconde approche proposée, utilise un modèle de zone cohésive [6] pour modéliser la dissipation d'énergie lors la progression de la fissure. L'originalité de notre méthode repose sur la stratégie d'adaptation du chemin de fissuration au cours de la propagation. En effet, en introduisant un critère de bifurcation, on propose de faire évoluer la géométrie de la zone cohésive en remaillant les éléments d'interface à l'amont de la « process zone » (donc ne dissipant pas encore d'énergie) pour adapter leur disposition au cours de l'évolution.

Dans les deux cas, les méthodes que nous proposons reposent sur l'utilisation d'une technique de remaillage sophistiquée [2], permettant de traiter efficacement l'insertion de surface de discontinuité dans des maillages éléments finis et le raffinement adaptatif à proximité du front de fissure. Dans le cadre de modèles de comportement dissipatifs, il est indispensable de conserver les champs d'inconnues décrivant l'histoire de l'état de la structure au cours de la propagation de fissure. Avec le choix d'une discrétisation par maillage conforme, il est nécessaire de transférer les données d'un ancien maillage vers un nouveau. Dans le cas général de deux maillages quelconques, cette opération ne peut être effectuée sans perte d'information et d'une éventuelle dissipation d'énergie. Pour permettre la poursuite du calcul, nous procédons en utilisant les méthodes exposées dans [7], avec un transfert direct des quantités nodales et un transfert par approximation diffuse, adaptés à la présence de fissures, pour les quantités points de Gauss.

Les approches développées dans ces travaux ont été mises en œuvre au sein du code éléments finis Z-Set/Zébulon [8]. Plusieurs applications seront exposées afin de comparer les trajets de fissuration et durée de vie obtenues par les deux méthodes, sur différentes structures tridimensionnelles de géométries simples ou complexes.

## Références

- [1] N. Moës, J. Dolbow, T. Belytschko. A finite element method method for crack growth without remeshing, *Int. Journal for Num. Meth. In Engrg*, 46 : 131-150, 1999.
- [2] V. Chiaruttini, F. Feyel, J.L. Chaboche, A robust meshing algorithm for complex 3D crack growth simulation, *ECCM 2010*, Paris.
- [3] P. Destuynder, M. Djaoua, Sur une interprétation mathématique de l'intégrale de Rice en théorie de la rupture fragile. *Mathematical Methods in Applied Science*, Vol. 3, 70–87, 1981.
- [4] G. Debruyne, Proposition d'un paramètre énergétique de rupture pour les matériaux dissipatifs, *CRAS 328*, Iib, 785-791, 2000.
- [5] J.R. Rice, *Elastic plastic crack growth*, Hpkins and Sewell (Ed), *Mech. of Solids*, 1980.
- [6] J.L. Bouvard, J.L. Chaboche, F. Feyel, F. Gallerneau, A cohesive zone model for fatigue and creep-fatigue crack growth in single crystal superalloys, *International Journal of Fatigue*, Volume 31, Issue 5, May 2009,
- [7] S. Feld-Payet, *Amorçage et propagation de fissure dans les milieux ductiles non locaux*, thèse de doctorat de l'Ecole des Mines de Paris, soutenue en octobre 2010.
- [8] Frédéric Feyel. Some new technics regarding the parallelisation of zébulon, an object oriented finite element code for structural mechanics. *Mathematical Modelling and Numerical Analysis*, 36(5) :923–935, sep 2002.