

Transition endommagement non local - fissuration dans le cadre de la rupture quasi-fragile

S. Cuvilliez^{1,2,4}, F. Feyel³, S. Michel-Ponnelle^{1,2}

¹ EDF R&D, 1, avenue du Général de Gaulle, 92141 Clamart Cedex, France {sam.cuvilliez,sylvie.michel-ponnelle}@edf.fr

² LaMSID - UMR EDF/CNRS/CEA 2832, 1, avenue du Général de Gaulle, 92141 Clamart Cedex, France

³ ONERA, BP72 - 29 avenue de la Division Leclerc, 92322 Châtillon Cedex, France, frederic.feyel@onera.fr

⁴ Centre des Matériaux, Mines Paris, Paristech, CNRS UMR 7633, BP 87 F-91003 Evry cedex, France

Résumé — On propose une méthode assurant l'équivalence énergétique entre un modèle non local à gradient d'endommagement et un modèle de zones cohésives. Dans un premier temps, on identifie analytiquement (sur un problème unidimensionnel) une famille de lois cohésives permettant de basculer du modèle non local vers le modèle cohésif, et ce quelque soit le niveau de dégradation atteint par le matériau. Cette stratégie est ensuite étendue au cadre bidimensionnel éléments finis, en couplant les représentations continues et discrètes dans le cas de la propagation de fissures rectilignes en mode I.

Mots clés — endommagement non local, modèles de zones cohésives, équivalence énergétique.

1 Introduction

La mécanique continue de l'endommagement [3] (CDM) et les modèles de zones cohésives [1] (CZM) sont deux approches permettant de décrire la ruine des structures dans le cadre de la rupture quasi-fragile. L'approche continue permet de décrire l'amorçage de la fissuration et d'en capter le trajet, en revanche elle ne permet pas d'obtenir directement certaines informations utiles à l'ingénieur comme l'ouverture de fissure. De plus, ces modèles de comportement adoucissants conduisent à un problème mal posé dont les conséquences se manifestent sur le plan numérique par une dépendance pathologique des solutions au maillage. Parmi les méthodes de régularisation qui ont été proposées [6, 5] pour pallier ce problème, on s'intéresse aux formulations non locales à gradient d'endommagement [4]. La seconde approche (CZM) permet de rendre compte du processus de fissuration en définissant une énergie de surface dépendant du saut de déplacement entre les lèvres de la fissure. Ces modèles discontinus permettent de décrire l'amorçage et la propagation de fissures, mais pour des trajets connus *a priori*.

Afin de tirer parti des avantages de chacune des approches, on souhaite décrire le processus de fissuration en les couplant. Dans un premier temps on développe analytiquement cette stratégie dans un contexte unidimensionnel, puis on l'étend aux propagations bidimensionnelles et rectilignes de fissures (en mode I) dans le cadre éléments finis.

2 Identification unidimensionnelle

Le problème étudié est celui d'un barreau fragile en traction soumis à un déplacement imposé. On détermine la solution inhomogène correspondant à la localisation de l'endommagement autour du centre de la barre. Disposant de cette solution décrivant la rupture du barreau avec un modèle à gradient d'endommagement, on détermine en premier lieu une loi d'interface équivalente d'un point de vue énergétique : pour un même niveau de contrainte (homogène dans la barre, le problème étant unidimensionnel) atteint avec chacun des modèles, le déplacement imposé doit être identique. On développe ensuite la stratégie suivante : décrire dans un premier temps le régime non linéaire par l'approche non locale seule, et basculer à partir d'un niveau de chargement « critique » (choisi arbitrairement) vers une représentation discontinue de la fissure en insérant une interface cohésive au centre de la bande de localisation, tout en assurant l'équivalence énergétique (cette fois-ci entre la réponse non locale et la réponse obtenue en utilisant successivement les deux formulations). Dans cette configuration, les mécanismes dissipatifs sont

uniquement pris en charge par l'interface cohésive dès lors que le basculement est déclenché, le matériau environnant se comporte alors de manière élastique tout en conservant la distribution de rigidité dégradée correspondant au champ d'endommagement critique. On montre que la loi cohésive permettant de réaliser une telle transition se déduit d'une « courbe maîtresse » (la loi d'interface équivalente au modèle non local seul) via un terme correctif qui dépend uniquement du champ d'endommagement critique.

3 Extension aux situations bidimensionnelles

On souhaite ensuite étendre cette stratégie aux situations bidimensionnelles, dans l'esprit des travaux présentés dans [2]. On valide dans un premier temps la transposition de cette méthode au cas d'une propagation de fissure rectiligne en mode I : les éléments cohésifs sont disposés au préalable au centre de la bande de localisation attendue. La structure étudiée est une éprouvette DCB entaillée de forme trapézoïdale, soumise à un chargement de type déplacement d'ouverture imposé, pour laquelle la propagation de fissure reste rectiligne et stable (figure 1-a). La pointe de fissure est décrite par le modèle d'endommagement non local, derrière laquelle les lèvres s'ouvrent progressivement selon une loi cohésive identifiée en chaque point de Gauss selon la méthode décrite dans le paragraphe précédent (en raisonnant dans la direction normale au trajet de fissuration). Le comportement d'un élément cohésif est activé à partir du moment où la valeur critique d'endommagement est dépassée dans les éléments situés dans son voisinage direct. La figure 1-b illustre en terme de réponse globale la comparaison entre les approches non locale, cohésive (loi d'interface équivalente) et couplée.

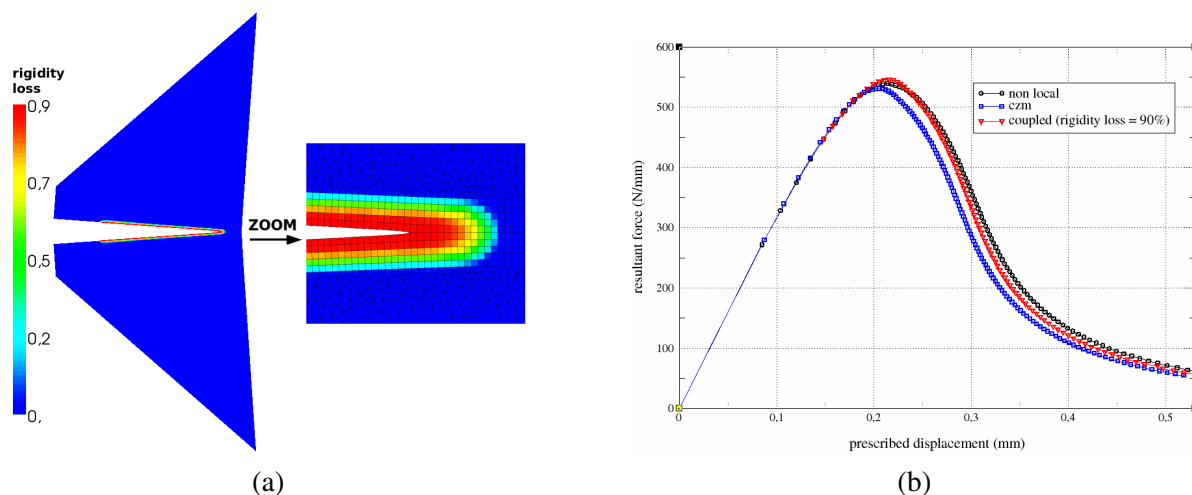


FIG. 1 – Fissuration d'une éprouvette DCB trapézoïdale entaillée, (a) : champ d'endommagement dans la configuration déformée, (b) : réponse globale de la structure

La mise en œuvre numérique fait intervenir pour chaque approche (non locale et cohésive) une formulation mixte de type Lagrangien augmenté, ainsi que des techniques de pilotage du chargement. Les simulations ont été réalisées avec le code de calcul éléments finis *Code_Aster* développé par EDF R&D.

Références

- [1] G.I. Barenblatt. *The mathematical theory of equilibrium cracks in brittle fracture*, Advan. Appl. Mech. 7, 55-129, 1962
- [2] C. Comi, S. Mariani, U. Perego. *An extended FE strategy for transition from continuum damage to mode I cohesive crack propagation*, Int. J. for Num. and Anal. Meth. in Geomech., 31(2), 213-238, 2007.
- [3] J. Lemaitre, J-L. Chaboche. *Mécanique des matériaux solides*, Dunod, 1988.
- [4] E. Lorentz, V. Godard. *Gradient damage models : towards full-scale computations*, accepted in Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 2010.
- [5] R.H.J. Peerlings, R. de Borst, W.A.M. Brekelmans, J.H.P de Vree. *Gradient enhanced damage for quasi-brittle materials*, Int. J. Num. Meth. Engng., 39, 3391–3403, 1996.
- [6] G. Pijaudier-Cabot, Z.P. Bazant. *Nonlocal damage theory*, J. Eng. Mech., 113, 1512-1533, 1987.