



## Améliorations et validation du modèle d'endommagement par level set épaisse (TLS)

Paul-Emile Bernard, Nicolas Moes, Nicolas Chevaugnon

### ► To cite this version:

Paul-Emile Bernard, Nicolas Moes, Nicolas Chevaugnon. Améliorations et validation du modèle d'endommagement par level set épaisse (TLS). 10e colloque national en calcul des structures, May 2011, Giens, France. pp.Clé USB. hal-00595891

**HAL Id: hal-00595891**

**<https://hal.science/hal-00595891>**

Submitted on 25 May 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Améliorations et validation du modèle d'endommagement par level set épaisse (TLS)

P.E.Bernard<sup>1</sup>, N.Moës<sup>1</sup>, N.Chevaugeon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GeM (UMR 6183 CNRS), Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noë 44321 Nantes, France

**Résumé** — Le présent travail propose des améliorations du modèle d'endommagement par level set épaisse (TLS pour *Thick Level Set*), ainsi qu'une comparaison avec la mécanique linéaire de la rupture et des modèles d'endommagement non-locaux. En particulier, une nouvelle discrétisation de la vitesse sur le front d'endommagement est proposée, ne nécessitant aucune paramétrisation et permettant ainsi une extension en trois dimensions. Un enrichissement par fonction *ridge* permet également de réduire le nombre d'éléments tout en prédisant précisément l'énergie dissipée.

**Mots clés** — endommagement non local, fissure, X-FEM, level set.

### 1 Contexte

La méthode des Eléments Finis Etendus (X-FEM) est utilisée depuis une décennie avec succès pour représenter des fissures [3] sans devoir adapter le maillage à la géométrie. Certaines questions sont néanmoins encore ouvertes à propos de cette méthode, comme la question de l'initiation de fissures, leur fusion ou leur branchement. Le modèle d'endommagement par level set épaisse offre une réponse à ces interrogations [4]. L'idée consiste à représenter les zones endommagées par une seule level set. Un *front d'endommagement*, séparant le matériau sain du matériau endommagé, correspond à l'iso-zéro de la fonction. Une longueur caractéristique  $l_c$  est introduite dans le modèle en postulant que le matériau est totalement détruit (endommagement scalaire  $d = 1$ ) à une distance  $l_c$  de l'iso-zéro. On montre que, l'endommagement étant une fonction directe de la level set  $d(\phi)$ , le modèle ainsi obtenu correspond à un modèle non-local, nécessaire pour éviter les phénomènes de localisation et de dépendance au maillage [1, 5]. Nous proposons ici une amélioration du modèle TLS quant à la discrétisation spatiale et à l'évolution du front d'endommagement.

### 2 Evolution du front d'endommagement et discrétisation spatiale

L'évolution temporelle de l'endommagement,  $\dot{d}$ , peut s'exprimer comme  $d'\dot{\phi}$ ,  $\dot{\phi}$  étant une vitesse d'avance de la level set en chaque point. En raison des propriétés de fonction de distance signée, il est nécessaire d'imposer cette vitesse comme constante le long des iso- $\nabla\phi$ . Nous proposons ici de représenter de manière générale (et extensible en trois dimensions) cette vitesse comme un champ scalaire unidimensionnel défini sur le front, grâce à un espace stable semblable à celui proposé dans [2] pour représenter des multiplicateurs de Lagrange. Cet espace est ensuite étendu à l'intérieur de la bande endommagée par combinaisons linéaires de degrés de liberté, assurant ainsi une représentation simple et efficace d'une vitesse constante selon le gradient de la level set.

L'algorithme proposé dans [4] permet de prendre en compte des modèles dépendant du temps,  $\dot{d}(Y)$ . Une approche explicite simple est proposée ici pour l'évolution temporelle du front afin de représenter le cas quasi-statique où le front avance lorsque le taux de restitution d'énergie atteint une valeur critique,  $G = G_c$ .

Finalement, une élimination propre des zones complètement endommagées est rendue possible par l'amélioration de la représentation spatiale, en introduisant des fonctions d'enrichissement de type *ridge* sur l'iso- $l_c$  pour le calcul du champ de déplacement. Les degrés de liberté de part et d'autre de la zone détruite ( $d = 1$ ) peuvent dès lors être aisément découplés lorsque nécessaire.

### 3 Comparaison aux modèles principaux de fissuration et d'endommagement

Le modèle TLS est comparé tout d'abord avec la mécanique linéaire de la rupture et X-FEM pour le cas test de flexion à trois points (Figure 1). L'équivalence est obtenue entre la représentation en front d'endommagement et la fissure, et la convergence en temps et espace est analysée.

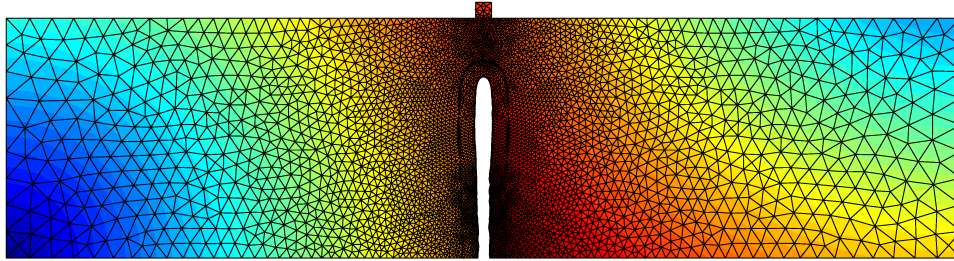


FIGURE 1 – Cas test de flexion trois points par méthode TLS - norme du champ de déplacement

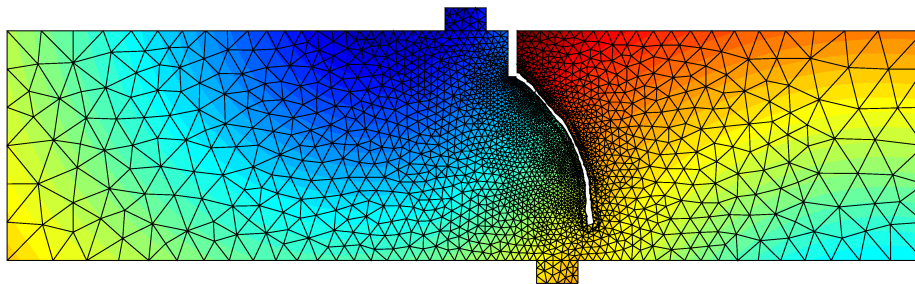


FIGURE 2 – Cas test de flexion quatre points en mode mixte par méthode TLS - norme du champ de déplacement

Le modèle est ensuite comparé à des modèles d'endommagement non-locaux [6] et à des fissures cohésives [7] pour le cas test de la flexion à quatre points (Figure 2), fournissant des résultats en bon accord avec la littérature. Des cas plus complexes sont finalement traités, mettant en jeu des phénomènes d'initiation de zones endommagées au sein d'une plaque trouée, mettant plus clairement en évidence le potentiel de la méthode TLS.

#### Références

- [1] Z. Bazant, T. Belytschko, T. Chang, *Continuum theory of strain-softening*, Journal of Engineering Mechanics, 110, 1666-1692, 1984.
- [2] E. Béchet, N. Moës, B. Wohlmuth, *A stable Lagrange multiplier space for stiff interface conditions within the extended finite element method*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 78, 931-954, 2009.
- [3] N. Moës, J. Dolbow, T. Belytschko, *A finite element method for crack growth without remeshing*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 46, 131-150, 1999.
- [4] N. Moës, C. Stoltz, N. Chevaugeon, P.E. Bernard, *A level set based model for damage growth : the thick level set approach*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, (in press) 2010.
- [5] R. Peerlings, R. de Borst, W. Brekelmans, J. De Vree, *Gradient enhanced damage for quasi-brittle materials*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 39, 3391-3403, 1996.
- [6] A. Rodriguez-Ferran, A. Huerta, *Error estimation and adaptivity for nonlocal damage models*, International Journal of Solids and Structures, 37, 7501-7528, 2000.
- [7] V. Verhoosel, J.J.C. Remmers, M.A. Gutierrez, *A dissipation-based arc-length method for robust simulation of brittle and ductile failure*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 77, 1290-1321, 2009.