

## Modélisation de l'endommagement par l'évolution d'une fonction de niveau : le modèle TLS (Thick Level Set)

N. Moës<sup>1</sup>, C. Stolz<sup>2</sup>, P.-E. Bernard<sup>1</sup>, N. Chevaugeon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GeM, Ecole Centrale de Nantes, France, {nicolas.moes,paul-emile.bernard,nicolas.chevaugeon}@ec-nantes.fr

<sup>2</sup> LMS, Ecole Polytechnique, France, stolz@lms.polytechnique.fr

**Résumé** — Les bases d'une nouvelle modélisation non locale de l'endommagement sont présentées. Le développement de l'endommagement est représenté par l'avancée d'un front derrière lequel l'endommagement est donné par une fonction explicite à la distance au front. Le front est localisé par l'iso-zéro d'une fonction de niveau (level set). Au delà de l'iso- $l_c$  où  $l_c$  est une longueur caractéristique (paramètre du modèle), l'endommagement vaut 1. La zone complètement endommagée est donc clairement délimitée. Dans ce modèle, on montre également que l'initiation de l'endommagement est local.

**Mots clés** — fonction de niveau, endommagement, modèle non local, rupture, éléments finis étendus

### 1 Le modèle TLS

Le modèle TLS conçoit le développement de l'endommagement via un front de propagation localisé par une fonction de niveau (level set). Contrairement aux travaux [5, 1], l'endommagement ne passe pas brutalement de 0 à 1 mais graduellement sur une longueur caractéristique  $l_c$  prescrite [4]. En aval du front, l'endommagement est donné par une fonction explicite de la distance au front. En plus de la distance  $l_c$ , cette fonction est un paramètre du modèle. La figure 1 donne la carte d'endommagement dans un exemple. Une seule level set suffit dans une structure pour indiquer le position du front d'endommagement  $\Gamma_0$  quelle que soit sa complexité.

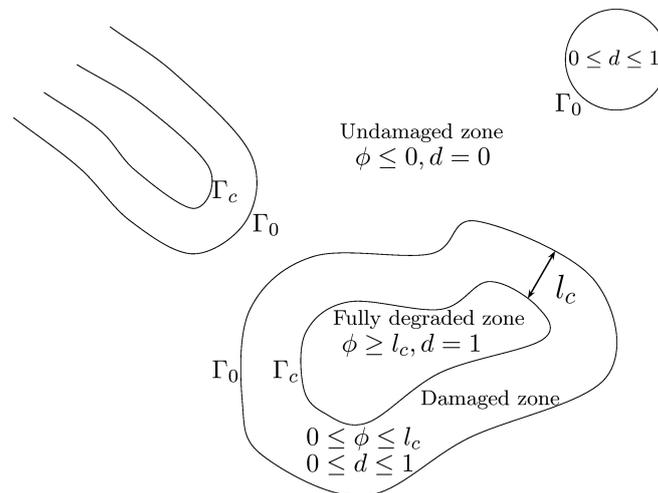


FIGURE 1 – Développement de l'endommagement entre les surfaces  $\Gamma_0$  et  $\Gamma_c$ . La surface  $\Gamma_0$  est localisée comme l'iso-zéro d'une fonction de niveau et la surface  $\Gamma_c$  est l'iso- $l_c$  correspondante. Lorsque l'endommagement n'est pas suffisamment développé la surface  $\Gamma_c$  n'existe pas encore. C'est le cas en haut à droite.

Les lois d'état conduisent à la définition de la force configurationnelle sur le front. Cette force est non-locale car elle est une moyenne pondérée de taux de restitution local  $Y$  sur l'épaisseur de la bande endommagée. La relation entre cette force et la vitesse du front (lois d'évolution) peut-être dégagée

via l'homogénéisation d'un modèle local dans la bande. Cette homogénéisation n'a pas besoin d'être explicite. Elle fait appel à la notion d'erreur en relation de comportement [4].

## 2 Propriétés du modèle TLS

On montre que le nouveau modèle possède les propriétés intéressantes suivantes :

- La condition de démarrage de l'endommagement est purement locale ( $Y = Y_c$  en un point pour fixer les idées). La non-localité s'installe ensuite graduellement en fonction du développement de la level set. Le fait que l'amorçage de l'endommagement soit lié à une condition purement locale est en accord avec le fait qu'à ce moment il n'y pas encore d'interactions entre micro-fissures donc pas de non localité. En particulier, si l'on prend le cas d'une fissure macro pré-existante. L'endommagement débutera en pointe de celle-ci et pas un peu à côté comme dans le cas des modèles non locaux plus classiques (second gradient ou non-locaux intégraux) [6]. Compte tenu du caractère local de l'initiation, le modèle ne doit pas être déployé sur toute la structure. En clair, on suit les fronts existant et on ajoute de nouveaux fronts au fur à mesure du calcul si le condition  $Y = Y_c$  se vérifie en d'autres endroits de la structure.
- La vérification du second principe de la thermodynamique est trivialement obtenue pour autant que le modèle d'endommagement local à la base du TLS le vérifie. Cette vérification n'est pas triviale dans le cas non local classique [3].
- La zone complètement endommagée est décrite clairement par une frontière ( $\Gamma_c$ ) et apparaît comme une conséquence de l'avancée du front. Cette zone peut être facilement éliminée du calcul via l'approche X-FEM pour les zones sans raideur ([2]) ou conservée dans le cas de chargement en compression.
- Dans le cas où la zone d'endommagement se propage de manière stationnaire et forme une bande, le modèle de mécanique de la rupture correspondant peut être obtenu formellement de manière assez directe.

## 3 Références bibliographiques

### Références

- [1] G. Allaire, N. Van Goethem, F. Jouve. *A level set method for the numerical simulation of damage evolution*, Technical Report, 629, École polytechnique, Centre de Mathématiques Appliquées, 2007.
- [2] C. Daux, N. Moës, J. Dolbow, N. Sukumar, T. Belytschko. *Arbitrary branched and intersecting cracks with the eXtended finite element method*, Int. J. For Numerical Methods In Engineering, 48 :1741-1760, 2000.
- [3] E. Lorentz, S. Andrieux. *Analysis of non-local models through energetic formulations*, Int. Journal for Solids and Structures, 40 :2905-2936, 2003.
- [4] N. Moës, C. Stolz, P.-E. Bernard, N. Chevaugeon. *A level set based model for damage growth : the thick level set approach*, Int. Journal for Num. Meth. In Eng., To appear, 2010.
- [5] QS. Nguyen, RM. Pradeilles, C. Stolz. *Sur une loi régularisante en rupture et endommagement fragile*, Comptes Rendus de l'académie des Sciences II, 309 :1515-1520, 1989.
- [6] A. Simone, H. Askes, LJ. Sluys. *Incorrect initiation and propagation of failure in non local and gradient-enhanced media*, Int. Journal for Solids and Structures, 41 :351-363, 2004.