



HAL
open science

Application de la PGD pour la simulation de l'endommagement de composites stratifiés sous impact

Sondes Metoui, Etienne Pruliere, Amine Ammar, Frédéric Dau, Ivan Iordanoff

► **To cite this version:**

Sondes Metoui, Etienne Pruliere, Amine Ammar, Frédéric Dau, Ivan Iordanoff. Application de la PGD pour la simulation de l'endommagement de composites stratifiés sous impact. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01515069

HAL Id: hal-01515069

<https://hal.science/hal-01515069>

Submitted on 27 Apr 2017

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.

Public Domain

Application de la PGD pour la simulation de l'endommagement de composites stratifiés sous impact

S. Metoui^{1,2}, E. Prulière¹, A. Ammar²,
F. Dau¹, I. Iordanoff¹

¹ I2M-Dumas, Arts et Métiers ParisTech, Centre de Bordeaux, {sondes.metoui,etienne.pruliere,frederic.dau,ivan.iordanoff}@ec-nantes.fr

² LAMPA, Arts et Métiers ParisTech, Centre d'Angers, amine.ammar@ensam.eu

Résumé — La prédiction du comportement des structures composites sous chargements dynamiques nécessite l'utilisation de maillages extrêmement fins, pour pouvoir représenter leur dégradation progressive. Le comportement non-linéaire des composites stratifiés met en jeu des phénomènes à la fois locaux et à l'échelle du pli. En effet, même l'utilisation des modèles mésoscopiques pour des structures de très grande taille reste encore inaccessible en raison du coût de calcul prohibitif et de capacités mémoire insuffisantes. Les méthodes de décomposition de domaine et les stratégies multi-échelles fournissent des solutions efficaces permettant le calcul de structures stratifiées de grande taille. Ce travail porte sur l'implémentation d'une nouvelle stratégie de décomposition de domaine, basée sur la décomposition généralisée propre (PGD), pour prédire la propagation de l'endommagement dans une plaque stratifiée soumise à l'impact.

Mots clés — PGD, décomposition de domaine, modèles de zone cohésives, impact, Newmark implicite.

1 Introduction

Les matériaux composites, en particulier les stratifiés, présentent d'excellentes propriétés mécaniques dans le plan de pli. L'orientation privilégiée de chaque pli permet de maximiser certaines propriétés dans les directions voulues, et donc une conception spécifique pour chaque cas de chargement.

Cependant, les stratifiés présentent également une faiblesse naturelle dans la direction de l'épaisseur, qui augmente fortement leur sensibilité aux chargement hors-plan, comme l'impact à basse vitesse. Ces impacts peuvent créer des dommages internes sans laisser de marque visible (fissuration de la matrice, délaminage, ...), et par conséquence diminuer leur résistance résiduelle.

La structure particulière d'un stratifié conduit à un matériau à trois échelles. On peut en effet distinguer l'échelle microscopique (fibre/matrice), l'échelle mésoscopique (un pli) et l'échelle macroscopique (la structure). Cette composante multi-échelle est un des aspect les plus important du dimensionnement de structures composites, pour la prédiction et la compréhension de la cinétique de dégradation.

Pour répondre à ces besoins, différents modèles ont été développés dans la littérature. Certains s'intéressent à l'étude du comportement à une échelle assez fine (fibre/matrice) afin de comprendre les interactions entre les modes de dégradation et leurs influences sur le comportement de la structure. D'autres se concentrent sur le comportement à une échelle intermédiaire et assez grossière (mésomodèle), afin de garder un bon compromis entre la prise en compte des interactions et un coût de calcul raisonnable. Il existe, par ailleurs, des techniques de modélisation multi-échelles telles que les méthodes de décomposition de domaine. Ces techniques sont principalement utilisées pour réduire le coût des simulations éléments finis. Mais le coût de calcul reste généralement élevé dans le cas de problèmes non-linéaires de très grande taille. Pour réduire considérablement le coût de ces techniques, une nouvelle approche multi-échelle basée sur la méthode PGD a été développée.

La PGD est introduite comme une méthode permettant de rechercher la solution sous forme d'une décomposition tensorielle sur chacune des variables [1, 2]. Elle a montré sa performance dans la résolution de problème multidimensionnels et paramétriques [3, 4]. L'utilisation de la PGD conduit à une réduction importante en terme de stockage et de temps de calcul [5], en particulier lorsque le maillage obtenu implique un grand nombre de degrés de liberté.

2 Démarche

Ces travaux se focalisent sur la modélisation numérique de l'endommagement des composites stratifiés sous un chargement de type impact. Un modèle de zone cohésive (MZC) a été choisi pour modéliser l'amorçage des fissures jusqu'à leur propagation. On s'intéresse plus particulièrement à la loi cohésive linéaire par morceaux de Crisfield [6]. Ce modèle a été choisi pour décrire et simuler le phénomène de délaminage [7]. Il permet de représenter le comportement d'interface à l'aide d'une loi liant l'effort d'interface à son ouverture, comme le montre la Figure 1. D'autres modèles basés sur la mécanique de l'endommagement ont été utilisés pour prendre en compte les endommagements intra-laminaires (fissuration matricielle, rupture de fibre).

L'idée de ce travail est d'utiliser la technique PGD pour réduire le calcul en espace. La PGD peut alors être utilisée de deux façons :

- Une séparation des échelles micro et macro en se basant sur une décomposition en sous domaines périodiques avec une représentation explicite des fibres ou des torons.
- Une séparation plan/épaisseur pour ramener le calcul sur un domaine 2D (comme les modèles plaques ou coques) tout en intégrant la possibilité de prendre en compte l'endommagement.

L'intégration en temps est assurée par un schéma implicite de type Newmark qui est couplé à la PGD. Ce schéma permet d'utiliser un pas de temps indépendant de la taille du plus petit élément du maillage. L'objectif final est de réaliser des simulations assez fines (échelle microscopique ou mésoscopique) de l'endommagement des composites stratifiés sous sollicitations dynamiques (impacts).

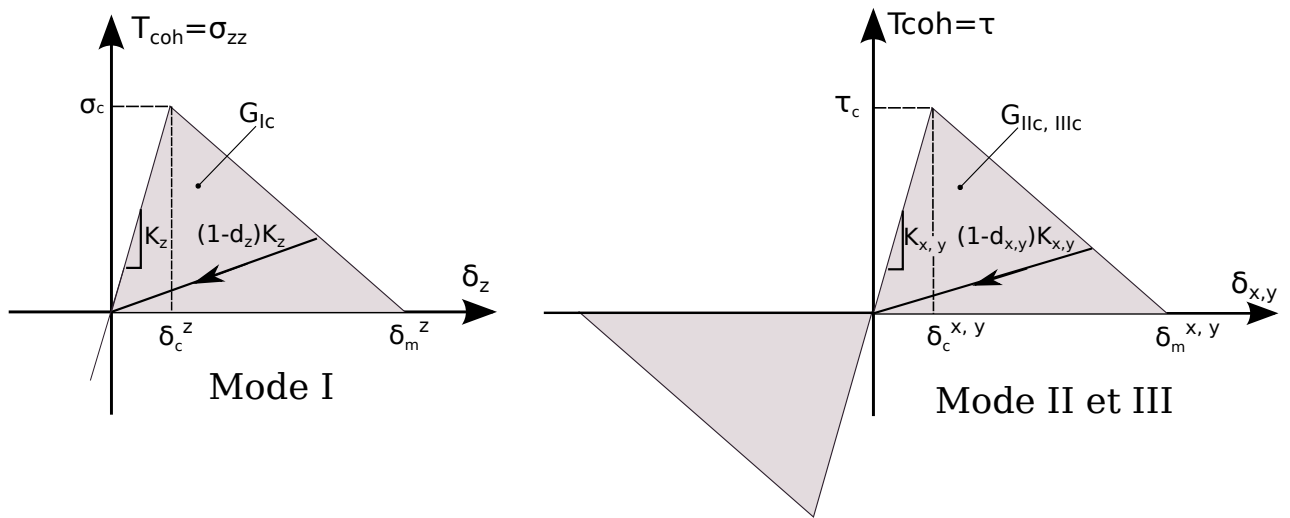


FIGURE 1 – Loi de comportement linéaire par morceaux pour le modèle cohésif. Traction/compression à gauche, cisaillement à droite.

Références

- [1] A. Ammar. The proper generalized decomposition : a powerful tool for model reduction. *International Journal of Material Forming*, 3(2) :89–102, June 2010.
- [2] F. Chinesta, P. Ladeveze, and E. Cueto. A short review on model order reduction based on proper generalized decomposition. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 18(4) :395–404, November 2011.
- [3] F. Chinesta, A. Ammar, and E. Cueto. Recent advances and new challenges in the use of the proper generalized decomposition for solving multidimensional models. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 17(4) :327–350, December 2010.

- [4] E. Pruliere, F. Chinesta, and A. Ammar. On the deterministic solution of multidimensional parametric models using the proper generalized decomposition. *Mathematics and Computers in Simulation*, 81(4) :791–810, December 2010.
- [5] A. Ammar, B. Mokdad, F. Chinesta, and R. Keunings. A new family of solvers for some classes of multidimensional partial differential equations encountered in kinetic theory modeling of complex fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 139(3) :153–176, December 2006.
- [6] J. Chen, M. Crisfield, A. J. Kinloch, E. P. Busso, F. L. Matthews, and Y. Qiu. Predicting progressive delamination of composite material specimens via interface elements. *Mechanics of Composite Materials and Structures*, 6(4) :301–317, 1999.
- [7] S. Metoui, E. Pruliere, A. Ammar, F. Dau, and I. Iordanoff. The proper generalized decomposition for the simulation of delamination using cohesive zone model. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 99(13) :1000–1022, 2014.