

Approche multiéchelle haute performance pour l'endommagement de structures composites

V. Roulet¹, P.-A. Boucard¹, L. Champaney¹

¹ LMT-Cachan (ENS Cachan/CNRS/UPMC/PRES UniverSud Paris), France {roulet,boucard,champaney}@lmt.ens-cachan.fr

Résumé — L'objectif de ce travail est le développement d'une méthode adaptée au calcul paramétrique d'assemblages de structures en matériau composite. Elle s'appuie sur la méthode LATIN, laquelle permet la résolution des non-linéarités (endommagement matériau, contact, frottement,...) ainsi qu'une parallélisation aisée s'appuyant sur une décomposition de domaine spécifique. Enfin, une étude multiparamétrique pourra être menée grâce à la possibilité d'utiliser la solution d'un calcul précédent comme initialisation de la recherche de solutions pour plusieurs problèmes similaires.

Mots clés — étude multiparamétrique, calcul parallèle, composite stratifié, contact, frottement, assemblage, méthode LATIN.

Contexte

L'un des enjeux majeurs dans l'utilisation de matériaux composites, notamment stratifiés, réside dans le calcul de l'état d'endommagement d'un assemblage soumis à un chargement complexe. En effet, la complexité des modes de dégradation de ces matériaux, tant au niveau des plis (fissuration transverse, rupture fibre, décohésion fibre matrice) [10] que des interplis (délaminage) [9], nécessite une modélisation fine. Ces mécanismes se passant à l'échelle de la fibre (environ 50 μm de diamètre), il n'est pas envisageable de calculer l'endommagement fibre par fibre dans le cas de structures de grande taille.

Un compromis acceptable est de se placer à une échelle intermédiaire, dite mésoscopique, faisant le pont entre l'échelle de la fibre et celle du composite, pour se placer à celle du pli. C'est dans cette optique qu'un mésomodèle de composite stratifié a été mis au point au LMT-Cachan ces vingt dernières années [6].

Cependant, l'identification des différents paramètres matériau de ces lois de comportement souffre d'incertitudes sur leurs valeurs. À ces incertitudes viennent s'ajouter celles des coefficients de frottement ou de précharge, paramètres classiques d'un assemblage. La prise en compte de ces variabilités demande l'utilisation d'une stratégie adaptée à une analyse paramétrique.

Comportement matériau

La modélisation du comportement matériau s'appuie sur le mésomodèle standard, développé dans [6]. Ce dernier s'appuie sur deux hypothèses fondamentales. La première est de considérer le composite comme l'assemblage de deux méso-constituants : les plis et les interfaces. La seconde consiste à supposer que l'endommagement est constant dans l'épaisseur du pli.

Le modèle définit alors l'état d'endommagement d'un composite par celui de ses plis et de ses interfaces, chaque entité étant régie par ses propres paramètres d'endommagement et ses propres lois de comportement. Par conséquent, l'ensemble a un comportement hautement non-linéaire et nécessite donc de nombreuses précautions pour sa résolution.

Stratégie utilisée

Afin de traiter des problèmes de taille importante, de nombreuses stratégies ont été mises au point, lesquelles s'appuient généralement sur une méthode de décomposition de domaine, scindant la structure complète en plusieurs problèmes de taille réduite. Parmi celles-ci, nous pouvons citer deux méthodes :

la méthode primale BDD [8], qui favorise une approche en déplacement, et la méthode duale FETI [3], basée sur un raccord en effort sur l'interface. Cette dernière a notamment été appliquée dans le cas de comportement de type contact avec frottement dans [1].

Notre approche est basée sur la méthode itérative LATIN [5], s'appuyant sur une décomposition de domaine mixte. À cette méthode vient s'ajouter une composante multiéchelle dans [7], laquelle garantit son extensibilité dans le cas d'un grand nombre de sous-structures. Cette variante multiéchelle a d'ores et déjà été appliquée à plusieurs types de comportements non-linéaires, notamment le délaminage des composites [4].

L'une des particularités de notre méthode est de définir, à chaque itération, une approximation de la solution définie en tout point de l'espace et sur tout l'intervalle de temps, que l'on vient affiner au fur et à mesure des itérations. C'est donc tout naturellement qu'elle s'inscrit dans le cadre d'une stratégie multiparamétrique, puisque l'on vient initialiser un calcul associé à un jeu de paramètres par la solution calculée avec un autre jeu [2].

Nous proposerons, dans un premier temps, l'introduction du cas de plis endommageables dans la méthode LATIN multiéchelle en expliquant les conséquences sur certains paramètres de la méthode. Nous illustrerons son fonctionnement sur un cas simple, puis sur un assemblage 3D introduisant les comportements de type contact frottant et précharge. Enfin, nous illustrerons l'efficacité de la stratégie multiparamétrique en faisant varier différents coefficients, tant le cas de résolution séquentielle qu'en exploitant la parallélisation du problème. On s'intéressera en particulier à l'extensibilité de la méthode dans le cas d'un grand nombre de processeurs.

Remerciements

Les travaux ayant mené à ces résultats ont été financés par le programme FP7/2007–2013 de l'European Community's Seventh Framework en vertu de l'accord n°213371.

Références

- [1] M. Barboteu, P. Alart, M. Vidrascu. *A domain decomposition strategy for nonclassical frictional multi-contact problems*, Computer Methods in Applied Mechanics vol. 190, 4785-4803, 2001.
- [2] P.-A. Boucard, L. Champaney. *A suitable computational strategy for the parametric analysis of problems with multiple contact*, International Journal for Numerical Methods in Engineering vol. 57, 1259-1282, 2003.
- [3] C. Farhat, P.S. Chen, J. Mandel. *A scalable Lagrange multiplier based domain decomposition method for time-dependent problems*, International Journal for Numerical Methods in Engineering vol. 38, 3831-53, 1995.
- [4] P. Kerfriden, O. Allix, P. Gosselet. *A three-scale domain decomposition method for the 3D analysis of debonding in laminates*, Computational Mechanics vol. 33 num. 3, 343-362, 2009.
- [5] P. Ladevèze. *Nonlinear computational structural mechanics – New approaches and non-incremental methods of calculation*, Springer-Verlag, 1999.
- [6] P. Ladevèze, O. Allix, J.-F. Deü, D. Lévêque. *A mesomodel for localisation and damage computation in laminates*, Computer methods in applied mechanics and engineering vol. 183, Elsevier, 105-122, 2000.
- [7] P. Ladevèze, D. Dureisseix. *A micro/macro approach for parallel computing of heterogeneous structures*, International Journal for Computational Civil and Structural Engineering vol. 1, 18-28, 2000.
- [8] P. Le Tallec, Y.-H. De Roeck, M. Vidrascu. *Domain-decomposition methods for large linearly elliptic three dimensional problems*, Journal of Computational and Applied Mathematics vol. 34, Elsevier, 93-117, 1991.
- [9] J.C.J. Schellekens, R. De Borst. *Free edge delamination in carbon-epoxy laminates : a novel numerical/experimental approach*, Composite Structures vol. 28, 357-373, 1993.
- [10] F. Touchard, M.C. Lafarie-Frenot, D. Guédrà-Degeorges. *Mechanical behaviour characteristics of a thermoplastic composite used in structural components*, Composites Science and Technology vol. 56, 785-791, 1996.