

Approche multiéchelle Arlequin pour l'étude des structures composées stratifiées

J. Touzeau¹, V. Chiaruttini¹, F. Feyel¹, H. BenDhia²

¹ DMSM-CEMN, Onera Châtillon, France, {josselyn.touzeau,vincent.chiaruttini,frederique.feyel}@onera.fr

² LMS, Ecole Centrale Paris, France, hachmi.ben-dhia@ecp.fr

Depuis plusieurs années, les objectifs drastiques de réduction de poids conduisent les industriels du secteur aéronautique à une utilisation de plus en plus importante des matériaux composites. En effet, ces matériaux permettent de concevoir des structures optimisées pour répondre à des sollicitations spécifiques en adaptant, par exemple, l'orientation des constituants aux directions de chargement. Cependant, le retour d'expérience dans l'utilisation de ces matériaux est limité et le manque de confiance dans les simulations conduisent les bureaux d'études à mener de coûteuses campagnes d'expériences pour les certifications. C'est pourquoi il est nécessaire, pour les bureaux d'études, d'avoir recours à des modélisations particulièrement fines pour prendre en compte efficacement les phénomènes de dégradations, par nature multiéchelles, qui se produisent dans ces assemblages. En effet, près des zones critiques (perçages, rivetages, géométries complexes ou surfaces fortement courbées, etc.) de nombreux phénomènes apparaissent sur des niveaux d'échelles différents : décohésion fibre/matrice, fissuration transverse, délaminage d'interface, etc. En pratique, pour prédire correctement le processus de rupture de la structure globale, la plupart de ces phénomènes d'endommagement et leurs interactions doivent être prises en compte.

La modélisation de ces problèmes multiéchelles et la discrétisation spatiale des équations constitutives à l'aide d'une méthode aux éléments finis standard, nécessite un maillage particulièrement fin permettant de représenter correctement les phénomènes ayant lieu sur l'échelle microscopique. En conséquence, les simulations de structures industrielles deviennent extrêmement coûteuses en terme de temps de calcul et de mémoire. Pour palier à cette difficulté, de nombreuses méthodes numériques ont été développées pour fournir des algorithmes de résolution qui prennent en compte le caractère multiéchelle de ces problèmes. Ces méthodes sont généralement basées sur le mélange de formulations complexes (localisées uniquement dans des zones d'intérêt précédemment identifiées) et de formulations globales plus simples utilisées sur l'ensemble de la structure. Pour les problèmes de mécanique des milieux continus, on peut citer : des méthodes de remaillage [1, 2], des méthodes multiéchelles imbriquées [3, 4], X-FEM [5, 6], des méthodes de superposition de maillages [7, 8] etc. Les travaux que nous présentons reposent sur la méthode Arlequin [9, 10].

Cette approche permet de lier différents modèles avec une formulation globale représentant, par exemple, une structure mécanique. Le modèle global est construit, ou issu d'un maillage initial, afin de modéliser le comportement macroscopique de la structure et, dans des zones d'intérêt, un modèle local, évoluant sur un patch, représente les phénomènes associés à l'échelle microscopique. Une répartition des énergies, l'introduction de champs multiplicateurs de Lagrange ainsi que l'utilisation d'un opérateur de couplage, permettent de réaliser la liaison, au niveau d'une zone de collage, de ce patch avec la structure globale.

Dans le domaine des matériaux composites, les modélisations éléments finis tridimensionnelles de structures stratifiées de grandes dimensions utilisent généralement des éléments coques permettant de simplifier la description cinématique du problème et de fortement réduire le nombre de degré de liberté. Cependant lorsque des processus des dégradations complexes apparaissent, une discrétisation plus fine,

souvent à l'aide d'éléments volumiques, se révèle indispensable. Nos travaux, nous ont conduit à proposer une formulation adaptée de l'opérateur de collage qui permet de lier efficacement des modèles cinématiquement différents. Un second point important vient de l'aspect multimatériau des structures composites et en particulier de leur nature anisotrope. Les stratifiés composites sont formés d'un assemblage de plis unidirectionnels possédant chacun ses propres caractéristiques et ses directions d'orthotropies. Dans le cadre de la méthode Arlequin, des développements ont été menés pour prendre en compte cet aspect à travers l'opérateur de couplage afin d'obtenir des discrétisations bien conditionnées et fournir des résultats de bonne qualité. Cet aspect revêt une importance particulière lors de la résolution des systèmes d'équations produits et son influence a été étudiée à travers l'évolution de la performance des solveurs itératifs utilisés dans le cadre d'une méthode de décomposition de domaine.

Cette approche a été mise en œuvre au sein du code de calcul aux éléments finis Z-set/Zébulon, co-développé par l'Onera. Différents résultats de simulations numériques, appliquées aux modélisations de phénomènes complexes sur des structures composites, seront présentés.

Références

- [1] B. Nayroles, G. Touzot, P. Villon. *Generalizing the finite element method : diffuse approximation and diffuse elements*, Computers and Structures, 10(5) :307-318, 1992.
- [2] T. Belytschko, YY, Lu, L, Gu. *Element-free Galerkin methods*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 37 :229-256, 1994.
- [3] T.J.R Hugues, G.R. Feijóo, L. Mazzei, J.B.Quincy. *The variational multiscale method - a paradigm for computational mechanics*, Computers Methods in Applied Mechanics and Engineering, 116(1,2) :3-24, 1998.
- [4] F. Feyel, J.L. Chaboche. *FE² multiscale approach for modelling the elastoviscoplastic behaviour of long fibre SiC/Ti composite materials*, Computers Methods in Applied Mechanics and Engineering, 183 :309-330, 2000.
- [5] T. Belytschko, T. Black. *Elastic crack growth in finite element method for crack growth remeshing*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 46 :131-150, 1999.
- [6] N, Moës, J. Dolbow, T. Belytschko. *A finite element method for crack growth without remeshing*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 48 :1549-1570, 2000.
- [7] J. Fish, S. Markolefas. *The s-version of the finite element method for multilayer laminates*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 33 :1081-1105,1992.
- [8] J.N. Reddy, D.H.Jr. Robbins. *Modeling of thick composites using a layerwise laminate theory*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 36 :655-677,1993.
- [9] H. BenDhia. *Problèmes mécaniques multi-échelles : la méthode Arlequin*, Comptes Rendu de l'Académie des Sciences, Paris, Série II b(326) :899-904, 1998.
- [10] H. BenDhia, G. Rateau. *The Arlequin method as a flexible engineering design tool*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 62(11) :1442-1462, 2005.