CSMA 2011
10e Colloque National en Calcul des Structures
9-13 Mai 2011, Presqu'île de Giens (Var)

Vers une stratégie multiéchelle temps-espace pour l'analyse des grands délaminages en dynamique transitoire

C. Dupleix-Couderc[1], O. Allix[1], F. Gatuingt[1], B. Malherbe[2]

[1] *LMT, ENS Cachan, 61 avenue du Président Wilson, 94235 Cachan Cedex*
[2] *Airbus France, 316 route de Narbonne, 31060 Toulouse Cedex 03*

Résumé —
Les essais d'impact sur grands panneaux composites montrent la possibilité de développement de très grands délaminages peu visibles en surface. Les simulations industrielles actuelles sont basées sur des calculs coques servant à appliquer des critères de délaminage. Des simulations prédictives du phénomène passent par l'usage de modèle fin de délaminage avec interfaces cohésives, ce qui dans une approche monoéchelle conduirait à des modèles numériques à plusieurs milliards de degrés de liberté. Aussi ce travail s'intéresse à la mise en place d'une démarche multiéchelle temps-espace visant à pouvoir insérer dans les zones d'intérêt des patchs 3D sur les maillages coques industriels.
Mots clés — dynamique, composite, calcul multi-échelle

La part des matériaux composites dans les structures aéronautiques est en constante augmentation. Le recours à des simulations numériques fiables est nécessaire pour dimensionner ces structures, en particulier pour simuler leur comportement dans le cas de choc mou. Pour ce type de problème, le phénomène de dégradation le plus important est le délaminage, qui peut apparaître sur de très grandes surfaces de la structure. Une bonne estimation des zones délaminées est notamment cruciale pour prédire la tenue résiduelle de la structure après un tel choc. Les simulations numériques réalisées par les industriels utilisent classiquement des éléments de coques multi-couche et des critères de rupture de plis, ce qui conduit à des résultats peu précis. La figure 1 présente une structure industrielle type étudiée. Les pas de temps de calcul associé à ces modèles sont de l'ordre de $10^{-4}\,ms$.

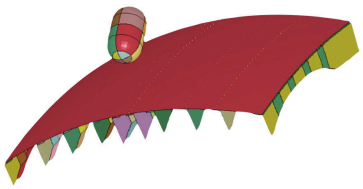

FIGURE 1 – Exemple de structure industrielle

Pour avoir une meilleure prédiction du délaminage, le recours à une modélisation à l'échelle mésoscopique est préférable [4]. À cette échelle, le stratifié est considéré comme un empilement de plis élémentaires et d'interfaces endommageables [1]. Bien que permettant une meilleure représentation du délaminage, l'application de ce type de modélisation à des structures, telle que celle présentée dans la figure 1, conduit à des calculs inabordables par les techniques actuelles de calcul. Pour une structure d'un mètre carré, composée de 40 plis, le modèle généré est d'environ 10 milliards de degrés de liberté et l'estimation du pas de temps associé est de $10^{-5}\,ms$. L'objectif des travaux présentés ici est donc de mettre en place une méthode multi-échelle temps-espace permettant la résolution d'un problème d'impact sur une structure composite stratifiée de grande taille.

A titre d'exemple, considérons une structure 2D (c.f. figure 2), qui correspond à une coupe de la structure 3D d'origine, composée de deux plis élémentaires et d'une interface délaminante. La structure est soumise à un effort évoluant avec le temps, représentatif d'un impact. La résolution du problème est

menée en utilisant un schéma de résolution de Newmark explicite. La figure 2 présente l'évolution du délaminage à différents pas de temps du calcul.

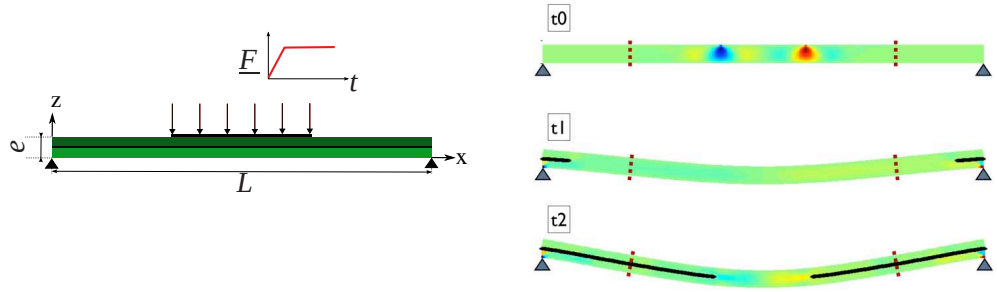

FIGURE 2 – Exemple considéré et propagation du délaminage dans la structure

Ainsi, une modélisation fine du stratifié n'est pas nécessaire à chaque instant du calcul et en chaque point de la structure. En effet, la région de l'interface en cours de dégradation et conduisant au délaminage a une longueur caractéristique très faible devant les dimensions caractéristiques de la structure. Une adaptation du modèle en fonction des zones de la structure peut alors être réalisée : dans les zones en cours de dégradations, une modélisation de type méso-modèle peut être utilisée ; dans les zones non dégradées, une modélisation de type coque est suffisante. Les pas de temps associés à chaque type de modélisation étant différents, la méthode doit également être multi-échelle en temps.

Les travaux dans ce sens ont portés sur trois points principaux. Le premier est le développement de critères de délaminage pertinents à partir de calcul coque [2]. Puis, un élément de coque 3D précis et permettant un enrichissement aisé a été mis en place. Enfin, les méthodes multi-domaine proposées dans [3] ont été adaptée au problème à traiter.

L'application directe de cette dernière méthode conduit cependant à des modifications du maillage de coque avec l'avancée du délaminage dans la structure. Le dernier ingrédient de la méthode en cours de développement vise à pouvoir enrichir le modèle coque permettant de garder celui-ci inchangé au cours de la simulation. Le côté multiéchelle en temps correspond au fait que chaque modèle nécessite l'usage de pas de temps différents.

Références

[1] O. Allix et P. Ladevèze, *Interlaminar interface modelling for the prediction of delamination* , Computers and structures, 22 (235-242), 1992.

[2] O. Allix et C. Dupleix-Couderc, *A plate theory as a mean to compute precise 3D solutions including edge effects and related issues*, in *New trends in thin structures : formulation, optimization and coupled problems*, Publisher Springer. Editor Pimenta and Wriggers, 2010

[3] A. Gravouil et A. Combescure, *Multi time step explicit-implicit method for non-linear structural dynamics*, International Journal For Numerical Methods In Engineering, 50 (199-225), 2001.

[4] P. Ladevèze, *A damage computational method for composite structures*, Computers and structures, 44 (79-87), 1992.