Club des Utilisateurs du code Z-set

2 décembre 2014
Onera, Chatillon

9h30 Accueil autour d'un café

10h Modélisation d'impact de foudre sur structures composites stratifiées
Johann Rannou, Onera - Chatillon

10h45 Approche monolithique stabilisée avec gestion d'interfaces mobiles pour la simulation numérique des procédés par infusion de résine
Maxime Blais, LGF, MINES Saint-tienne

11h30 Simulation de l'endommagement matriciel d'un composite unidirectionnel à matrice thermoplastique
Sébastien Joannes, Centre des Matériaux - Mines ParisTech

12h15 Déjeuner

13h45 Etude de l'endommagement présent au sein de matériaux tissés 2D à l'aide de simulations effectuées à l'échelle mésoscopique
Aurélien DOITRAND, Onera - Chatillon

14h30 Simulation numérique de séquence de coupures de fils dans un composite tissé 3D
Lucien Laiarinandrasana, Centre des Matériaux - Mines ParisTech

15h15 Evaluation de différentes méthodes de régularisation sur structures composites contenant des singularités géométriques
Frédéric Laurin, Onera - Chatillon

16h00 Discussions autour d'un café

Z-set | Material & structure analysis suite

RÉSUMÉS

Simulation thermo-électrique d'un impact de foudre sur une structure composite

Johann Rannou, Cédric Huchette, Pierre Beauchêne
Onera - Chatillon
Johann.Rannou@onera.fr

"Un avion de ligne est foudroyé en moyenne une fois par an et le dimensionnement des appareils doit en tenir compte. L'utilisation de matériaux composites stratifiés dans des structures exposées (fuselage, voilure) apporte un certain nombre de challenges. Le chargement engendré par un impact foudre est complexe. Il est composé (i) d'un chargement électrique intense engendrant un fort échauffement par effet Joule du fait des faibles conductivités du matériau, (ii) d'un flux thermique sévère et (iii) d'une pression hydrodynamique due au plasma très importante. La dégradation de ces structures et l'efficacité des protections foudre (souvent un grillage metallique inséré dans le stratifié) est aujourd'hui évaluée de manière expérimentale. L'intérêt de la simulation numérique pour rationnaliser les campagnes d'essais est évident et on peut trouver quelques travaux dans la littérature récente [1, 2, 3]

Nous nous intéressons ici à une première étape qui consiste à simuler les dégradations thermiques dues à l'effet Joule et aux flux thermiques directs. Ceci passe par un couplage électro-statique / thermique. Les modèles mis en place tiennent compte du claquage électrique du au caractère diélectrique de l'interface entre deux plis et de la dégradation du matériau par pyrolyse.

La mise en œuvre des modèles dans Z-set ainsi que des résultats qualitatifs de ce travail très amont seront présentés."

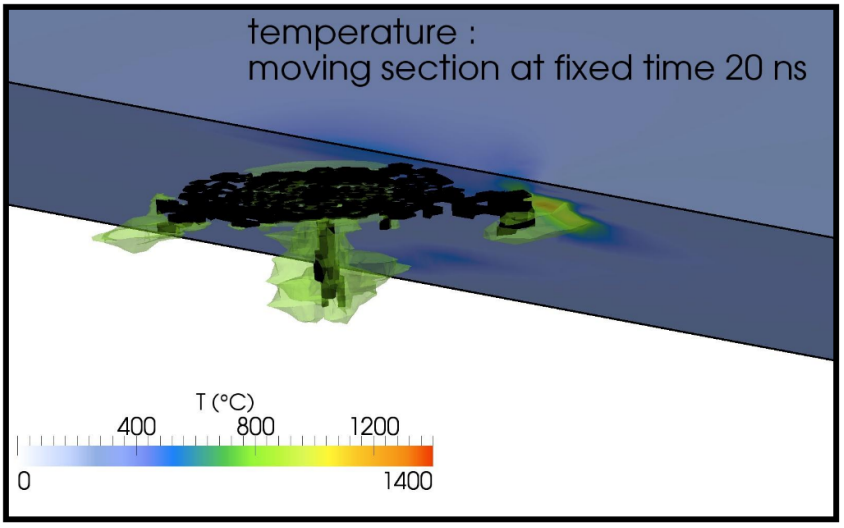

Figure 1: Section d'une plaque de 8 plis : champ de température et de matière pyrolysée (en noir)

References

[1] L. Chemartin, P. Lalande, B. Peyrou, A. Chazottes and P.Q. Elias. Direct Effects of Lightning on Aircraft Structure: Analysis of the Thermal, Electrical and Mechanical Constraints. Journal of Aerospace Lab, Issue 5 (2012).

[2] G. Abdelal and A. Murphy. Nonlinear numerical modelling of lightning strike effect on composite panels with temperature dependent material properties. Composite Structures, Elsevier, 2013

[3] T. Ogasawara, Y. Hirano and A. Yoshimura. Coupled thermal-electrical analysis for carbon fiber/epoxy composites exposed to simulated lightning current. Composites: Part A, 41 p973-981 (2010).

Approche monolithique stabilisée avec gestion d'interfaces mobiles pour la simulation numérique des procédés par infusion de résine

Maxime Blais, Nicolas Moulin, Pierre-Jacques Liotier, Sylvain Drapier
LGF UMR 5307, MINES Saint-Étienne
nicolas.moulin@mines-stetienne.fr

"Les procédés de fabrication de pièces composites par infusion de résine visent à imprégner, de résine liquide, une préforme fibreuse sèche sous l'effet d'un différentiel de pression induit par la mise sous vide d'un empilement de renforts. Ce chargement induit en premier lieu la pénétration de la résine dans un tissu drainant (à grande perméabilité) pour créer un « lit de résine » sur la surface de l'empilement de préformes. La résine infuse ensuite au travers de l'empilement subissant alors de grandes déformations, sous l'effet de la pression atmosphérique. Malgré de nombreux avantages, la prédiction des propriétés finales (dimensions, taux de fibre, porosités...) et le pilotage du procédé restent délicats. L'apport de modèles numériques robustes et performants est sans conteste la voie privilégiée de la dissémination de ces procédés. Le manque actuel de modèles numériques de ces procédés provient sans doute de la nécessité de coupler l'écoulement dans le milieu poreux (préformes fibreuses) et purement fluide (tissus drainants) avec la déformation mécanique des préformes. Le modèle développé ici dans le code Z-set est basé sur une approche monolithique stabilisée entre un modèle de Darcy (milieu poreux) et un modèle de Stokes (milieu purement fluide) où les interfaces (interface Stokes/Darcy et front de fluide) sont définies par des fonctions level-set. La qualité des résultats numériques est conditionnée par la stabilisation de la formulation mixte en vitesse - pression (méthode ASGS) mais aussi par le calcul des différentes contributions au voisinage des interfaces (mobiles ou fixes). La méthodologie spécifique adoptée permet ainsi, sans remaillage, de générer automatiquement les règles d'intégration nécessaires par des sous découpages locaux des éléments traversés par les interfaces. Actuellement, ces développements sont étendus à des problèmes de capillarité, où la formulation permet la prise en compte d'une tension de surface aux interfaces."

Simulation de l'endommagement matriciel d'un composite unidirectionnel à matrice thermoplastique

Henri Alexandre Cayzac, Sébastien Joannes, Lucien Laiarinandrasana
Centre des Matériaux - Mines ParisTech
Sebastien.Joannes@mines-paritech.fr

"Certains matériaux composites structuraux connaissent aujourd'hui une transition des matrices thermodurcissables vers des matrices thermoplastiques. Si les performances longitudinales - dominées par le renfort - restent quasi-identiques, le comportement transverse est fortement modifié. Pour bien des applications, la compréhension et la prédiction des mécanismes de fissuration transverse est essentiel et il convient de décrire ces phénomènes à l'échelle où ils apparaissent.

Dans cette présentation, plusieurs modules de la suite logiciel Z-set sont mis en ouvre afin de simuler et prédire l'endommagement matriciel d'un composite thermoplastique pultrudé présentant une fraction volumique de fibres de l'ordre de 65%. Une approche "top-down" à deux échelles permet de localiser les zones critiques d'une structure, permettant de comprendre l'amorçage et la propagation locale de fissures. A l'échelle de la microstructure, un modèle de comportement de la matrice endommageable (au sens de Gurson) permet de rendre compte des micromécanismes de déformation et d'endommagement de la matrice confinée par les fibres. Ce modèle multi-mécanismes est implémenté via le pré-processseur ZebFront. Un mécanisme de propagation de fissures est introduit par l'intermédiaire d'une commande "remove element" basée sur un seuil critique de porosité. L'activation progressive du réseau de micro-fissures engendrés par un chargement multi-axial est clairement mis en évidence ainsi que l'influence de la variabilité microstructurale qui tend localement à amplifier le chargement."

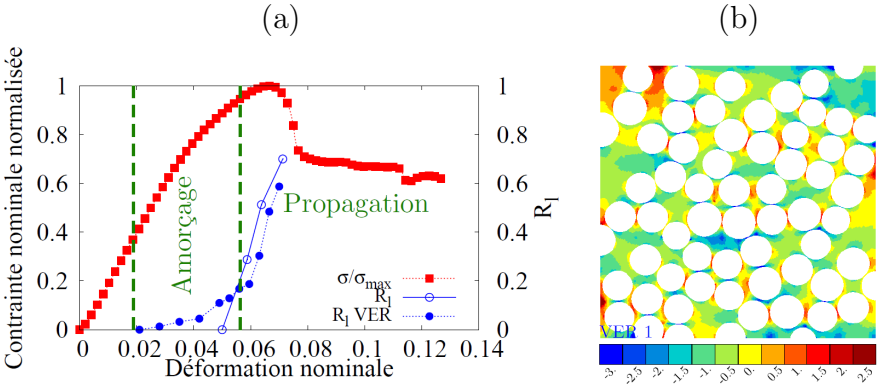

Figure 2: (a) : Contrainte nominale normalisée, Rl du jonc et Rl du VER en fonction de la déformation nominale, (b) : Cartes d'isovaleurs du calcul du taux de triaxialité dans la matrice pour une déformation macroscopique appliquée de 0.02

Etude de l'endommagement présent au sein de matériaux tissés 2D à l'aide de simulations effectuées à l'échelle mésoscopique

A. Doitrand, C. Fagiano, M. Hirsekorn (ONERA ¿ DMSC/MC2), V. Chiaruttini (ONERA- DMSM/MNU)
aurelien.doitrand@onera.fr

"Les matériaux composites à renforts tissés intéressent de plus en plus les industriels de l'aéronautique et de l'automobile. Leur grande flexibilité de conception, notamment au niveau du choix du renfort permet de générer des structures complexes en réduisant les opérations d'assemblage qui affaiblissent la tenue des structures. L'étude de l'endommagement des composites tissés doit intégrer le caractère multi-échelle de ces matériaux. Des modèles macroscopiques phénoménologiques modélisant les effets de l'endommagement existent [1] mais leur inconvénient majeur est la nécessité d'identifier à nouveau les paramètres du modèle lorsque les constituants, le renfort, ou le procédé de fabrication change. L'intérêt de la modélisation à l'échelle mésoscopique est la prise en compte de l'influence de la variabilité de ces paramètres sur le comportement mécanique macroscopique du matériau. L'approche la plus commune pour modéliser l'endommagement à l'échelle mésoscopique est l'utilisation d'une loi continue d'évolution de l'endommagement [2]. Cette approche peut cependant donner des résultats non physiques lors de l'étude de la propagation de l'endommagement [3]. Dans ce cas, l'approche discrète consistant à insérer des fissures dans le maillage éléments finis [4] est nécessaire pour prédire le comportement mécanique d'un composite tissé. L'objectif de ce travail est de présenter une stratégie de modélisation pour l'étude des mécanismes d'endommagement caractéristiques des matériaux composites tissés à l'échelle mésoscopique. Les effets de l'endommagement sur les propriétés macroscopiques obtenues par homogénéisation périodique par éléments finis sont obtenus en insérant des fissures discrètes dans le maillage de la cellule élémentaire représentative du composite grâce à des fonctionnalités de l'algorithme Zcracks. Les mécanismes d'endommagements modélisés sont (i) les fissures intra-toron et (ii) les décohésions entre torons ou entre toron et matrice. Un critère de rupture est utilisé pour déterminer la localisation de l'apparition des fissures. La procédure est illustrée sur un composite composé de quatre couches de taffetas de fibres de verre et d¿une matrice époxy. Les effets de l'endommagement sur les propriétés mécaniques macroscopiques, obtenues par homogénéisation périodique par EF à partir de cellules élémentaires représentatives endommagées (Figure 3), sont comparés avec des résultats expérimentaux."

References

[1] Maire J.F., Chaboche J.L. A new formulation of continuum damage mechanics (CDM) for composite materials. Aerospace Sci. and Tech., Vol 1, Issue 4, pp. 247-257, 1997.

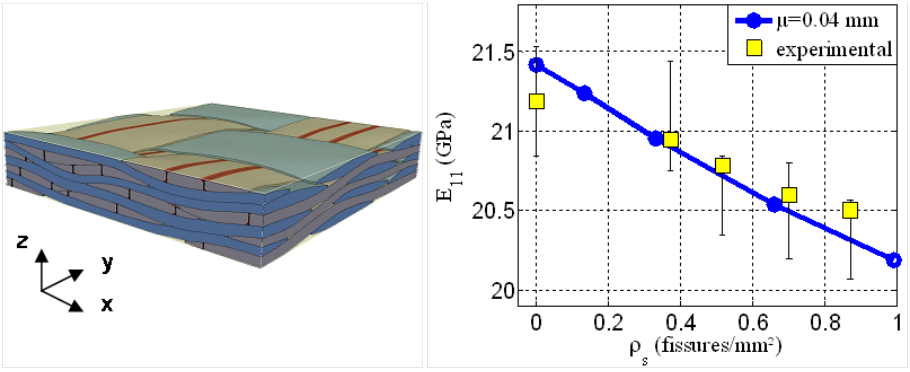

Figure 3: Diminution du module de Young en fonction de la densité de fissures dans la CER pour une longueur moyenne de décohésion μ de 0.04 mm

[2] Melro A.R. et al. Numerical simulation of the non-linear deformation of 5-harness satin weaves. Comput. Mater. Sci., Vol 61, pp. 116-126, 2012.

[3] Gorbatikh L et al. On modelling of damage evolution in textile composites on meso-level via property degradation approach. Compos Part A, Vol 38, pp. 2433-42. , 2007.

[4] Obert E et al. Micro and meso modeling of woven composites: Transverse cracking kinetics and homogenization. Compos Struct, Vol 117, pp 212-221, 2014.

Simulation numérique de séquence de coupures de fils dans un composite tissé 3D

Lucien Laiarinandrasana, Q. Roirand, A. Thionnet
Centre des Matériaux - Mines ParisTech
Lucien.Laiarinandrasana@mines-paritech.fr

"Deux types de rupture des renforts dans un composite tissé 3D ont été constatés par des observations tomographiques: rupture par avalanche (mort subite) dans le cas de traction et rupture des fils dans la zone en traction puis arrêt du processus de fissuration pour le cas de chargement impliquant une flexion. La simulation de ces deux modes de rupture a été mise en oeuvre avec le code Z-set avec une cellule représentative périodique. Les fils de chaîne présentant une ondulation, la prise en compte de l'anisotropie a été effectuée par une réactualisation des repères locaux en cours des calculs. Pour ce qui est de la simulation de la rupture, la procédure d'érosion d'éléments a été utilisée avec succès. Un élément est considré rompu lorsque le maximum de la plus grande contrainte principale (σ_{p1}^{max}) dans cet élément atteint la contrainte de rupture du fil (σ_R). La figure ci-dessous montre qu'en traction la coupure d'une rangée de fils (à mi-épaisseur) entraîne une surcharge sur les autres fils ($\sigma_{p1}^{max}/\sigma_R > 1$) alors qu'en flexion le transfert de charge n'induit pas de contrainte supérieure à la contrainte à rupture du fil."

(a) (b)

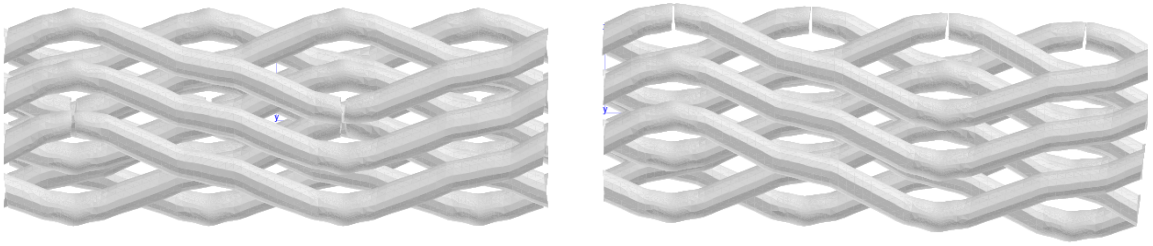

Figure 4: (a) : Chargement en traction, (b) : Chargement en flexion

Evaluation de différentes méthodes de régularisation sur structures composites contenant des singularités géométriques

Laurin F. (ONERA - DMSC/MC2), Rannou J. (ONERA - DMSM/MNU)
Onera - Chatillon
Frederic.Laurin@onera.fr

"En raison de leurs propriétés mécaniques spécifiques élevées, l'usage de matériaux composites n'a cessé d'augmenter au cours des dernières années pour la réalisation de structures primaires dans l'aéronautique telles que le caisson central, les ailes ou le fuselage. Néanmoins, la tenue de structures composites est notablement affaiblie par l'introduction de singularités géométriques, telles que des trous ou des entailles. L'analyse de ces structures à fort gradient de contrainte reste à ce jour un point dur dans le dimensionnement de structures industrielles. En effet, cela nécessite (i) de décrire les différentes sources de non-linéarité avant la rupture (viscosité, fissuration matricielle, délaminage) et (ii) de prévoir quantitativement les effets des modes de ruine catastrophiques d'un pli unidirectionnel (tels que la rupture sens fibre) induisant un comportement adoucissant. Toutefois, des problèmes numériques sont associés à ce type de modélisation et entrainent une dépendance de la force maximale à rupture prévue au maillage utilisé induisant ainsi une perte de confiance dans les simulations. Il existe, dans la littérature, différentes méthodes de régularisation mais qui doivent être encore évaluées sur des cas tests représentatifs de problématiques aéronautiques. L'objectif de ce travail est donc de réaliser une évaluation des différentes méthodes de régularisation disponibles afin d'évaluer leur maturité (tant d'un point de vue physique que numérique) sur différents cas tests. Parmi les techniques existantes, trois différentes approches numériques ont été associées au modèle de rupture progressif développé par l'Onera [1] et implémentées dans le code de calcul implicite ZeBuLoN à savoir: (i) une méthode introduisant un effet retard sur l'endommagement, (ii) l'introduction d'une vitesse maximale d'endommagement dans le modèle [2] et (iii) la reformulation de la loi dans un formalisme non local [3]. La dépendance à la taille de maille (type, taille et orientation des éléments) a été étudiée sur différentes quantités d'intérêt telles que la réponse globale de la pièce, le faciès d'endommagement et évidemment la force maximale à rupture sur différents cas tests comme des essais de traction sur plates trouées, entaillées (Figure 5) ou des essais de type Compact Tension."

References

[1] Laurin F., Carrere N., Huchette C., Maire J.-F. 2013. A multiscale hybrid approach for damage and final failure predictions of composite structures. Journal of Composite Materials 47, 2713-2747.

[2] Suffis A., Lubrecht T.A.A., Combescure A. 2006. Damage model with delay effect: Analytical and numerical studies of the evolution of the characteristic damage length. International Journal of Solids and Structures 40, 3463-3476.

[3] Germain N., Besson J., Feyel F. 2007. Composite layered materials: Anisotropic nonlocal damage models. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 196, 4272-4282.

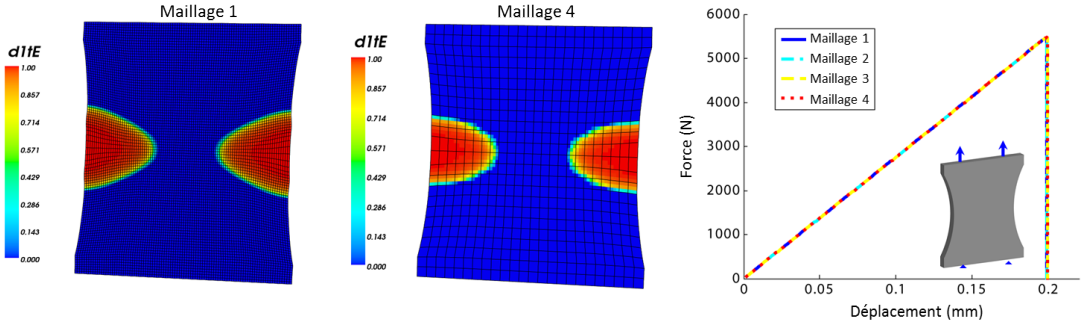

Figure 5: Faciès de rupture prévus pour différents maillages avec le formalisme non local sur une structure entaillée sous sollicitation de traction uni-axiale

Les sessions se déroulent à l'Onera Chatillon
Moyens d'accès sur le site `http://www.onera.fr/fr/nos-centres/chatillon`

"Une pièce d'identité en cours de validité est obligatoire pour l'accès au site de l'Onera."