

# Modélisation micromécanique du couplage thermo-viscoélastique dans les composites

Carole NADOT-MARTIN, Mikael GUEGUEN

Contacts : [carole.nadot@ensma.fr](mailto:carole.nadot@ensma.fr) ; [mikael.gueguen@ensma.fr](mailto:mikael.gueguen@ensma.fr)

Partenariat : Université de Colombie Britannique (Canada).

**Contexte :** Les couplages multi-physiques sont présents dans la majorité des thématiques de l'équipe ENDO (thermo-oxydation ou couplage electro-thermo-mécanique dans les composites aéronautiques, couplage thermo-diffuso-mécanique dans les réservoirs bobinés pour le stockage d'hydrogène...). Des moyens expérimentaux (essais/métrie) originaux ont été développés de même que des modèles multi-physiques, tenant compte de couplages forts, dans le cadre de la Thermodynamique des Processus Irréversibles. Les lois couplées ont été implantées dans Abaqus® via la définition d'éléments finis spécifiques (UEL). Pour faire face aux limites du logiciel Abaqus® à traiter des phénomènes multiphysiques présentant des temps caractéristiques très différents, une forte activité numérique a également vu le jour pour adapter la méthode PGD (Proper Generalized Decomposition) au traitement de problèmes transitoires fortement couplés.

Bien qu'utilisées à différentes échelles, les lois couplées développées au sein de l'équipe ENDO sont de formulation macroscopique. Elles sont utilisées pour des simulations Abaqus® par exemple à l'échelle des constituants, en vue d'améliorer la compréhension des micro(méso)mécanismes et/ou aider à l'analyse des résultats expérimentaux. La remontée à l'échelle supérieure (si nécessaire) se fait par homogénéisation numérique ce qui est encore extrêmement coûteux pour la majorité des matériaux. Ce contexte et la maturité de l'activité expérimentale/modélisation/numérique de l'axe ENDO autour des couplages multiphysiques offrent la motivation et le socle pour aborder la *modélisation par transition d'échelle des phénomènes multiphysiques couplés dans un contexte mécaniquement non linéaire (i.e. dissipatif)*.

Comparaisons AI (étendue) / EF. Microstructure périodique à fibres longues ( $cf = 0.25$ ). Thèse B. Tressou (2016)

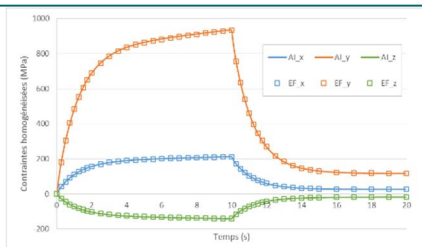


Fig 1. : Fibres élastiques, matrice viscoélastique (Maxwell généralisé). Chargement purement mécanique. Evolution des contraintes homogénéisées dans les trois directions de l'espace.

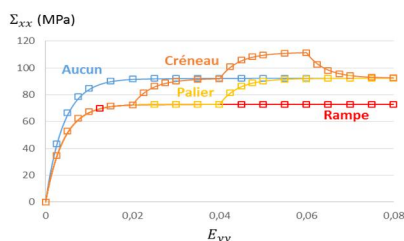


Fig. 2 : Fibres thermoélastiques, matrice thermoviscoélastique (Maxwell). Chargement mécanique monotone superposé à différents profils de température imposés. Evolution de la réponse homogénéisée.

Une première contribution de cette opération fondamentale récente a concerné le *couplage entre viscoélasticité et température* au sein de composites de microstructures variées. L'Approche Incrémentale (AI) de Lahellec et Suquet a été généralisée afin d'élargir son spectre d'application en termes de lois viscoélastiques (Fig.1)/microstructures pouvant être considérées, puis son formalisme étendu pour incorporer le couplage précité. Les réponses homogénéisées et moyennes par phase à divers chargements thermomécaniques ont été confrontées avec succès aux solutions obtenues par champs complets, prouvant l'efficacité de la modélisation lorsque le couplage de la thermique vers la mécanique est considéré (Fig.2). Enfin, une première simulation avec résolution simultanée de l'équation de la chaleur à l'échelle locale intégrant comme sources les termes de couplage thermomécanique et de dissipation intrinsèque a fourni des résultats inédits et encourageants dans une situation de couplage fort, c'est-à-dire de la mécanique vers la thermique et inversement. L'auto-échauffement induit par dissipation viscoélastique a ainsi pu être estimé et pris en compte dans l'estimation de la réponse homogénéisée d'un composite soumis à un chargement purement mécanique.

**Thèse soutenue :**

- 2016 Benjamin Tressou : Contribution à l'homogénéisation des milieux viscoélastiques et introduction du couplage avec la température, par extensions d'une approche incrémentale directe.

**Publication :**

- B. Tressou, C. Nadot-Martin, R. Vaziri. Micromechanical modelling of thermo-viscoelastic composites: analytical approach vs numerical simulations, 9th European Solid Mechanics Conference (ESMC 15), Madrid, Espagne, (2015).