



CENTRE DES MATERIAUX
P.M.FOURT



S *ÉMINAIRE du 19 Février 2016*

**Variabilités de la microstructure dans les polymères
et composites.
Aspects expérimental et numérique.**



Caractérisation et modélisation des thermoplastiques renforcés de fibres courtes

Victor FABRE^a, Bundi DONGUY^a, Karine LE GORJU^a

a. Centre de Recherche, Hutchinson SA, Rue Gustave Nourry, 45120 Chalette-sur-Loing
victor.fabre@cdr.hutchinson.fr

Les thermoplastiques renforcés de fibres courtes, en raison de leur bon compromis de rigidité et de tenue au choc, sont de plus en plus utilisés pour remplacer le métal dans les applications automobiles. En particulier, l'utilisation de ces matériaux sous capot moteur permet une réduction du poids des véhicules et ainsi une réduction des émissions de CO₂.

Les applications de ce matériau se trouvant aujourd'hui sous le capot du véhicule, cela implique des pièces soumises à des sollicitations dynamiques, ainsi qu'à des contraintes de température et d'humidité. Afin de pouvoir prédire la tenue mécanique de ces pièces dans ces conditions, il est indispensable de mieux connaître et maîtriser le comportement des matériaux composites à matrice polyamide 6.6. C'est dans ce contexte qu'Hutchinson travaille sur une meilleure compréhension des mécanismes d'endommagement mis en jeu, et sur la mise en place d'outils de dimensionnement en statique, en fatigue, en crash ou encore en fluage, des thermoplastiques renforcés de fibres courtes.

ÉTUDES STRUCTURE-PROPRIÉTÉS – APPLICATIONS DANS L'INDUSTRIE

Henri-Alexandre CAYZAC ^a

a. LEM, CERDATO - Route de Launay - 27470 Serquigny

henri-alexandre.cayzac@arkema.com

Le Cerdatto, centre de Recherche d'Arkema met au point des nouveaux polymères et optimise les procédés de fabrication pour répondre aux évolutions du marché. Les produits ainsi développés sont destinés à différents marchés : automobile, aéronautique, sports, électronique et aux industries de l'énergie par exemple. Le Laboratoire d'Etude des Matériaux soutient les activités de recherche grâce à l'analyse, la compréhension et la maîtrise des relations entre synthèse, transformation, microstructures et propriétés pour lier les performances du matériau à son application visée. Un exemple de cette démarche appliquée aux matériaux composites sera abordé. Il faut, pour développer des composites performants, lier la chimie et les procédés de fabrication, contrôler l'organisation des renforts dans la pièce produite et s'assurer que le cahier des charges mécaniques, notamment, est respecté.

MODELISATION PHYSICO-MÉCANIQUE DES NANOCOMPOSITES PDMS-SILICE

D. Colombo ^{ab}, S. Cantournet ^a, F. Lequeux ^b, H. Montes ^b, K. Le Gorju ^c

^aMINES Paristech, MAT-Centre des Matériaux, Evry, France, davide.colombo@mines-paristech.fr;

^bESPCI, SIMM, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France

^cCentre de Recherche Hutchinson, rue Gustave Noury, 45210 Chalette sur Loing, France

Les gommés silicones (PolyDiMethylSiloxanes, PDMS) chargées silice sont des matériaux performants, utilisés dans plusieurs applications industrielles. Les charges renforçantes améliorent la réponse mécanique de la matrice élastomérique, bien qu'elles introduisent des nouvelles dépendances et des nombreuses non-linearités [1]. Leur description mécanique est complexe et la construction d'une loi constitutive phénoménologique est limitée par l'important nombre de paramètres [2].

Pour faciliter la représentation macroscopique, nous proposons un modèle multi-échelle développé à partir du comportement microscopique de la matrice confinée entre charges (Figure 1). Nous nous basons sur la modification de la réponse dynamique apportée par la silice sur le PDMS, traduisible en une réduction de mobilité locale [3, 4]. Pour des agrégats adjacents, ce phénomène se traduit dans les régions confinées en une connexion (ponts vitreux) dont la viscoélasticité dépend de la température, de la distance entre particules et de l'état local de contrainte. A plus grande échelle, ce comportement justifie la formation d'un réseau percolant viscoélastique, qui permet d'expliquer le phénomène de renfort, sa dépendance à la température [5], à l'amplitude de déformation (effet Payne)[6] et à la morphologie [7]. Une simple loi viscoélastique nous permet de représenter un large spectre de relaxation au sein d'un réseau complexe et de reproduire les principales tendances observées expérimentalement.

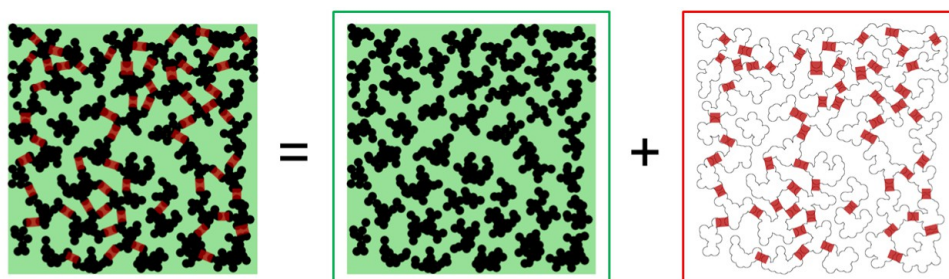


Figure 1: Schématisation du modèle: couplage entre homogénéisation standard et réseau percolant de régions à mobilité réduite (ponts vitreux) pour la représentation du renfort et ses dépendances.

References

- [1] F. Clement and al., Investigation of the Payne effect and its temperature dependence on silica-filled Polydimethylsiloxane networks. *Rubber Chemistry and Technology*, 78:211–231, 2005.
- [2] M. Rendek and A. Lion, Amplitude dependence of filler-reinforced rubber: Experiments, constitutive modelling and FEM - Implementation. *International Journal of Solid and Structures*, 47:2918–2936, 2010.
- [3] J. Berriot and al., Filler-elastomer interaction in model filled rubbers, a 1 H NMR study. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 307–310:719–724, 2002.
- [4] J. Berriot and al., Evidence for the shift of the glass transition near the particles in silica-filled elastomers. *Macromolecules*, 35:9756–9762, 2002.
- [5] J. Fritzsche and M. Kluppel, Structural dynamics and interfacial properties of filler-reinforced elastomers. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 23:1–11, 2011.
- [6] H. Montes and al., Evidence for the shift of the glass transition near the particles in silica-filled elastomers. *Macromolecules*, 35:9756–9762, 2002.
- [7] H. Montes and al., Particles in model filled rubber: dispersion and mechanical properties. *European Physical Journal E*, 31:263–268, 2010.

VARIABILITÉS DE LA MICROSTRUCTURE DES MATÉRIAUX COMPOSITES DE LA CARACTÉRISATION EXPÉRIMENTALE À L'HOMOGENÉISATION NUMÉRIQUE.

Pierre-Alexis POULET ¹, Lucien LAIARINANDRASANA ¹, Sébastien JOANNÈS ¹

¹ MINES ParisTech, PSL Research University, MAT - Centre des matériaux, CNRS UMR 7633, BP 87 91003 Evry, France

Les composites unidirectionnels présentent d'excellentes propriétés dans le sens longitudinal, qu'il s'agisse de leur comportement ou de leur résistance. Néanmoins, leur forte anisotropie nécessite de se pencher sur leurs propriétés transverses qui sont particulièrement affectées par les transferts de charges entre fibres via la matrice et conditionnent de ce fait leur durabilité. En effet, peu d'études se focalisent sur le comportement transverse qui est pourtant le siège des premiers endommagements sous chargements complexes et multi-axiaux. Vrai pour les résines thermodurcissables, c'est d'autant plus le cas pour le matériau de la présente étude : composite à matrice thermoplastique et à fraction volumique de renfort élevée (65%). Cette phase liante est très sensible à la pression hydrostatique et aux défauts microstructuraux.

Mises en évidence dans la thèse de Cayzac [2] pour le cas d'un composite thermoplastique pultrudé, les variabilités microstructurales sont du premier ordre dans les mécanismes et la cinétique d'endommagement. Ces variabilités se retrouvent tant au niveau des renforts (la dispersion et le diamètre des fibres) que de la matrice (zones confinées ou encore porosités). L'étude du comportement et de la durabilité de tels matériaux nécessite de s'intéresser à l'influence de ces variabilités microstructurales.

De ce constat, la présente étude entreprend de se concentrer sur la cinétique d'endommagement transverse d'un composite UD à matrice thermoplastique. Elle s'appuie sur une caractérisation expérimentale des variables statistiques représentatives de la microstructure obtenues par analyse d'images pour générer des cellules artificielles aléatoires représentatives et périodiques [3] qui alimentent une étude numérique EF. Une loi de comportement poro-visco-plastique [1] pour la matrice permet de rendre compte des mécanismes d'endommagement locaux en simulant la réponse de ce thermoplastique soumis à un chargement triaxial complexe. L'influence de la variabilité de la microstructure sur l'amorçage de l'endommagement et le suivi de fissure au sein d'un réseau de fibres est investigué.

Enfin, des calculs de structures en prenant en compte la microstructure du composite peuvent être réalisés par une méthode d'homogénéisation numérique. Celle-ci est fondée sur une base d'essais élémentaires numériques en champs complets sur la microstructure digitale, à laquelle on fait coïncider les résultats d'un matériau fictif homogène équivalent [4]. Une relocalisation permet de suivre l'évolution de l'endommagement au sein de la microstructure en tout point du composite.

References

- [1] BOISOT G. *Mécanismes et modélisation mécanique de la déformation, de l'endommagement et de la rupture du polyamide 11 pur et renforcé choc*. PhD thesis, MINES ParisTech, 2009.
- [2] CAYZAC H.-A., *Experimental and numerical analyses of matrix damage on a composite material. A pultruded thermoplastic reinforced with glass fibers*. PhD thesis, MINES ParisTech, 2014.
- [3] GHOSSEIN E., LÉVESQUE M., *A fully automated numerical tool for a comprehensive validation of homogenization models and its application to spherical particles reinforced composites*. International Journal of Solids and Structures 49, pp. 1387–1398, 2012.
- [4] ILTCHEV A., *Periodic homogenization of a cellular material in elastoplasticity and application to structural modelling : from small to large deformations*. PhD thesis, MINES ParisTech, 2014.



Vous pouvez nous contacter:

par courrier postal:

Centre des Matériaux
Mines ParisTech
CNRS UMR 7633
10 Rue Henry Desbriueres, BP 87
F-91003 Evry cedex, FRANCE

par téléphone : +33 1 60 76 30 00
par fax : +33 1 60 76 31 50
par courrier électronique semteam@mat.ensmp.fr
Site web : <http://www.mat.ensmp.fr>

Equipe séminaire :

Raphaël CUSSET (B127)