



Séminaire du 08 juin 2023



Polymères / Composites

Dimensioning of reinforced thermoplastics and composites at Hutchinson: from material characterization to prediction on parts

Victor FABRE ^a

^a HUTCHINSON SA Centre de Recherche et Innovation Laboratoire Caractérisations et Essais Mécaniques, CHALETTE-SUR-LOING, France

Over the last years, Hutchinson have gained experience in static, fatigue, creep and crash dimensioning of reinforced thermoplastic and composites parts for mobility applications.

Composites are promising materials that challenge emission regulations coming from transportation sector when compared to metallic parts. Different targets like weight saving, mechanical performance, volume of production can be achieved with a tailored application of composite materials. However, an accurate prediction of mechanical behaviour of parts using finite element numerical simulations and material characterization methodologies is still a challenging topic of current Research & Innovation

Modélisation des propriétés élastiques des composites DLF par champs aléatoires gaussiens

A. Touminet ^{a,b}, S. Cantournet ^a, V. Fabre ^b, P. Kerfriden ^a

^a Mines Paris, Université PSL, Centre des Matériaux (CMAT), CNRS UMR 7633, BP 87 91003 Evry, France

^b HUTCHINSON SA Centre de Recherche et Innovation Laboratoire Caractérisations et Essais Mécaniques, CHALETTE-SUR-LOING, France

Les approches usuelles de modélisation des composites à fibres discontinues (DLFs) se basent sur des méthodes micromécaniques et des représentations microstructurales simplifiées. Dans cette présentation, on s'intéresse à l'utilisation de champs aléatoires gaussiens pour représenter les propriétés élastiques des DLFs, ainsi que leur variabilité. Nous présentons d'abord les motivations de cette approche en mettant en évidence la variabilité du matériau aux échelles mésoscopiques et macroscopiques, vis-à-vis des propriétés morphologiques des différentes phases. Nous construisons alors une représentation du tenseur élastique adaptée au matériau dont la variabilité spatiale est modélisée par des champs aléatoires gaussiens. Plus précisément, il s'agit d'une paramétrisation du tenseur élastique par un nombre réduit de variables, appelées descripteurs géométriques, liées au tenseur élastique via un modèle de raideur construit de façon à représenter correctement l'anisotropie du matériau. Nous proposons une interprétation géométrique des descripteurs ainsi construits et faisons le lien avec les grandeurs d'intérêt en imagerie non-destructive. Cette approche permet notamment d'échantillonner aléatoirement un ensemble de descripteurs géométriques afin d'aboutir à un matériau synthétique. Les propriétés statistiques des matériaux synthétiques générés dépendent de la fonction de corrélation utilisée pour échantillonner ces descripteurs, dont les paramètres doivent être identifiés pour les matériaux à l'étude. A cet effet, une méthode d'identification de ces paramètres à partir d'essais de corrélation d'images numériques (DIC) est proposée. Cette approche est formulée comme un problème inverse Bayésien hiérarchique, où les descripteurs géométriques sont les inconnues du problème. La formulation Bayésienne hiérarchique permet notamment d'aboutir à une estimation des paramètres de la fonction de corrélation associée aux descripteurs identifiés, et donc d'identifier les paramètres du générateur synthétique. Nous évaluons la pertinence de l'approche proposée en évaluant le résidu de déplacement identifié dans l'approche inverse, et en comparant la statistique des propriétés macroscopiques avec celle des essais de traction.

Etude à très long terme de tuyauteries en PEHD en milieu marin chloré

Robin Laot ^{a,c}, Maelenn Le Gall ^b, Pierre-Yves Le Gac ^b, Cristian Ovalle ^c, Lucien Laiarinandrasana ^c
Morgane Broudin ^a

^a EDF Lab Les Renardières, MMC, Avenue des Renardières, 77250 Écuelles, France

^b Laboratoire Comportement des Structures en Mer, IFREMER, Centre de Bretagne, Plouzané 29280, France

^c Mines Paris, Université PSL, Centre des Matériaux (MAT), CNRS 7633 BP 87, 91003 Évry, France

Pour des raisons technico-économiques, Electricité De France (EDF) souhaite étudier sur certains circuits de refroidissement classés Equipements Important pour la Sûreté, une solution constituée de tuyauteries en PEHD enterrées, en remplacement des tuyauteries métalliques en galeries. En conditions d'exploitation, ces tuyauteries subissent une pression interne pouvant aller jusqu'à 10 bars dues aux solutions transportées sur des durées allant jusqu'à 80 ans. Le polymère est donc soumis à un double effet qui sont la sollicitation en fluage induit par la pression constante de l'eau et le vieillissement potentiel induit par la longue durée d'utilisation au contact d'eau de mer ayant subi un traitement chimique.

Le PEHD est un matériau largement étudié et utilisé depuis des décennies pour le transport d'eau. Depuis les premières tuyauteries sous pression, ce matériau a déjà connu plusieurs évolutions amenant à des modifications majeures de ces propriétés notamment structurelles. Ces évolutions à l'échelle du matériau ont permis une forte croissance de son utilisation.

Cette étude vise à améliorer la compréhension du/des mécanisme(s) de dégradation afin de modéliser le vieillissement et le comportement sous contrainte des tuyauteries enterrées en PEHD actuelles et futures. Pour cela, la stratégie mise en place pour cette étude est de séparer les phénomènes en jeu afin de pouvoir les étudier et connaître leurs cinétiques respectives. La présentation exposera la démarche, les résultats obtenus ainsi que les perspectives de l'étude.

Simulation du soufflage de PET pour le contrôle intelligent des chaînes de recyclage de bouteilles

William HAN ^a, Pierre KERFRIDEN ^a, Sabine CANTOURNET ^a

^a Mines Paris, Université PSL, Centre des Matériaux (MAT), CNRS 7633 BP 87, 91003 Évry, France

De nos jours, la mise en forme de bouteilles se fait en utilisant le procédé ISBM (Injection Stretch Blow Moulding). Ce procédé utilise majoritairement du PET (Polytéréphtalate d'éthylène) car ses propriétés mécaniques, barrières et optiques répondent remarquablement aux besoins des emballages alimentaires.

Cependant, l'introduction de PET d'origine recyclée est susceptible de changer les propriétés mécaniques et thermiques de la résine d'entrée. Afin d'augmenter la teneur de résine venant de bouteilles recyclées au-delà de 5%, il est nécessaire que les chaînes de soufflage soient robustes aux variabilités de la résine.

Ce projet conjoint entre le CDM (Centre des Matériaux) et le CEMEF (Centre de Mise en Forme des Matériaux) fait partie du CARNOT MINES fédérateur recyclabilité des polymères. Dans un premier temps, les modèles de simulations numériques de soufflage sont évalués, afin de permettre ensuite la méta-modélisation du procédé. La caractérisation de la ligne de soufflage permettra alors l'établissement d'un jumeau numérique du procédé.

Effet du vieillissement sur les propriétés mécaniques d'un fluorosilicone: étude expérimentale

Clémence LOGEAS^a, Cristian OVALLE^a, Lucien LAIARINANDRASANA^a,

^a Mines Paris, Université PSL, Centre des Matériaux (MAT), CNRS 7633 BP 87, 91003 Évry, France

Mots-clés : élastomère, fluorosilicone, module de compressibilité, vieillissement

Le matériau étudié est un élastomère fluorosilicone pouvant être utilisé pour l'étanchéité de systèmes sensibles ayant une longue durée de vie. Dans une étude préliminaire, des essais uniaxiaux en traction et en compression ont été réalisés. Les résultats ont montré une compressibilité du matériau, remettant ainsi en question l'hypothèse d'incompressibilité [1]. Pour caractériser pleinement la réponse mécanique et assurer les propriétés à long terme, il est nécessaire de mesurer son module de compressibilité K et de suivre son évolution dans le temps.

À l'état non vieilli, la compression confinée dans un creuset en laiton a montré un module faible par rapport à la littérature (560 MPa au lieu de 1-10 GPa), en considérant le déplacement global mesuré par la machine d'essai. Un creuset transparent (PMMA) est utilisé pour mesurer la déformation locale par acquisition d'images avec un extensomètre optique. Le module de compressibilité mesuré est d'environ 1350 MPa.

Pour aller plus loin, ce nouveau dispositif expérimental sera utilisé pour suivre l'évolution de K pour différents temps/températures de vieillissement, de manière similaire à Bouaziz et al. [2]. Un premier processus de vieillissement accéléré a été réalisé à 250°C pendant 1 semaine. Les résultats montrent une diminution d'environ 20 % de K . Une augmentation de la compressibilité de l'élastomère peut être problématique dans les applications où une étanchéité stricte est nécessaire, car cela peut entraîner des fuites. Pour essayer de comprendre ce comportement en vieillissement, des analyses et essais complémentaires seront effectués (observations optiques et MEB, suivi de masse...).

Références :

[1] C. Logeais, C. Ovalle, L. Laiarinandrasana, in Constitutive Models for Rubber XII, p. 205-210, (CRC Press, London, 2022)

[2] R. Bouaziz et al., Polymers, vol. 12, no 10, p. 2354, (2020)

Apprentissage de comportements mécaniques viscoélastiques non linéaires par un réseau de neurones récurrent thermodynamique

Nicolas PISTENON ^{a*}, Pierre KERFRIDEN ^a, Jean-Luc BOUVARD ^b, Daniel PINO MUÑOZ ^b et Sabine CANTOURNET ^a

^a Mines Paris, Université PSL, Centre des Matériaux (MAT), CNRS UMR 7633, Evry, France

^b Mines Paris, Université PSL, Centre de Mise en Forme des Matériaux (CEMEF), CNRS UMR 7635, Sophia Antipolis, France

(* Corresponding author. E-mail : nicolas.pistenon@minesparis.psl.eu)

La modélisation des matériaux est un enjeu clef dans la construction des simulations numériques actuelles. Pour les polymères amorphes, la détermination du nombre et du type de mécanismes de déformations mis en jeu ne sont pas encore résolus. En effet, la distribution statistique des chaînes dans un polymère conduit à un spectre continu de temps de relaxation. Dans le domaine linéaire, ce spectre peut être discrétisé par un modèle de Maxwell Généralisé. Toutefois, la détermination du nombre de branche visqueuse dans le modèle est un problème mal-posé [1] bien qu'étant toujours dans le domaine linéaire du matériau. Les non-linéarités des polymères amorphes complexifient sa modélisation. Les élastomères renforcés, bien qu'étant en petites déformations, ont un mécanisme de déformations non-linéaires, l'effet Payne. Cet effet est caractérisé par une dépendance de la réponse mécanique en l'amplitude des déformations.

Les modélisations actuelles ne permettent pas encore de reproduire ce type de comportements [2], [3]. L'état de l'art sur l'utilisation des méthodes d'apprentissage statistique (*Machine Learning*) pour les comportements mécaniques dépendant de l'histoire de chargements ne montre pas de modèle ayant de grandes capacités d'interpolations et d'extrapolations notamment dans le contexte d'un nombre de données cohérent avec les capacités expérimentales d'aujourd'hui.

Il est introduit dans cette étude une nouvelle approche d'apprentissage statistiques pour modéliser ce type de comportement. Le modèle combine un modèle de Maxwell Généralisé avec un réseau de neurones récurrents (RNN) thermodynamiques. Ce couplage permet d'une part d'apporter un biais inductif via une connexion résiduelle. Et d'autre part, le modèle phénoménologique est utilisé comme cachée pour encoder de l'informations temporelles. Cela permet de diminuer l'encodage de l'histoire par le RNN qui peut être source de difficulté de manière générale.

De plus, le RNN est rendu thermodynamiquement cohérent avec l'inégalité de Clausius-Duhem. La présentation rendra compte principalement de cet aspect thermodynamique pour modéliser l'effet Payne.

Références :

- [1] D. JALOCHA, A. CONSTANTINESCU et R. NEVIERE. « Revisiting the identification of generalized Maxwell models from experimental results ». In : International Journal of Solids and Structures 67-68 (2015), p. 169-181.
- [2] D. COLOMBO, H. Montes, F. LEQUEUX et S. CANTOURNET. « Thermo-mechanical modeling of a filled elastomer based on the physics of mobility reduction ». In : Mechanics of Materials 143 (2020), p. 103319.
- [3] M. RENDEK et A. LION. « Amplitude dependence of filler-reinforced rubber : Experiments, constitutive modelling and FEM – Implementation ». In : International Journal of Solids and Structures 47.21 (2010), p. 303-314.



Vous pouvez nous contacter :

- Par courrier postal :

Centre des Matériaux Pierre-Marie Fourt
Mines Paris
CNRS UMR 7633, BP 87 91003 Evry, France

- Par téléphone : +33 (0)1 60 76 30 00
- Par courrier électronique : semteam@mat.mines-paristech.fr
- Site web : <https://www.mat.minesparis.psl.eu/seminaires/>

Equipe séminaire :

Mohamed SAHAOUI
Matthieu ASSAINTE
Juliette REDONNET
Arij GUERZIZ