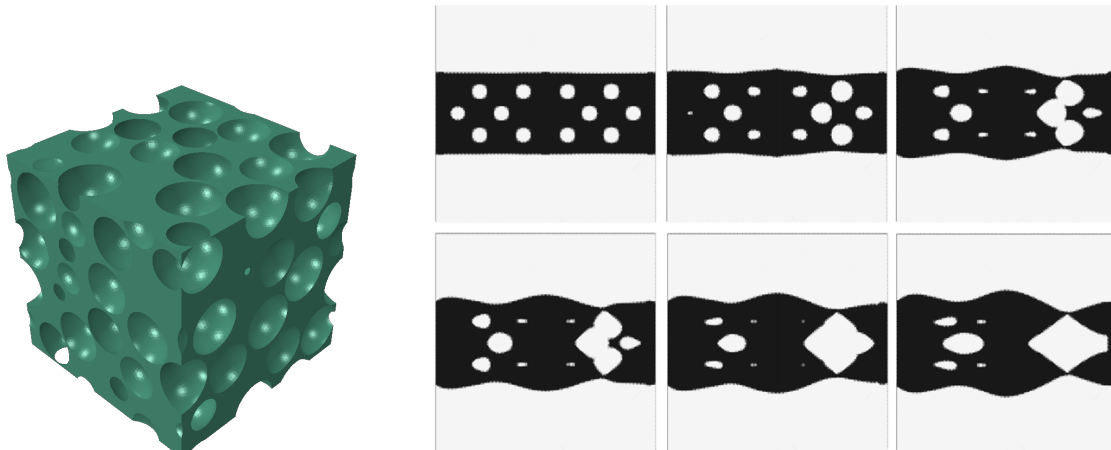


DESIGN AND MODELING OF INNOVATIVE MATERIALS

Symposium homogénéisation et optimisation des polymères



Thèse Antoni Joubert (2022)

Organisé par Julie Diani le 28 septembre à l'école Polytechnique, le symposium annuel de la Chaire ARKEMA « Design et modélisation de matériaux innovants » a eu pour thème cette année l'homogénéisation et l'optimisation des polymères. Il a rassemblé des chercheurs de la mécanique et des mathématiques appliquées.

Les méthodes d'homogénéisation et d'optimisation sont des approches reliant la microstructure des matériaux ou des structures à leurs propriétés macroscopiques. Cette journée a porté sur leurs applications aux propriétés mécaniques des polymères, matériaux au cœur de Chaire ARKEMA « Design et modélisation de matériaux innovants ». Ce programme est mené par **Julie Diani***, Directrice de recherche CNRS au Laboratoire de mécanique des solides. Le soutien d'ARKEMA à cette Chaire reflète l'importance de la modélisation pour la mise au point de matériaux de spécialité, respectueux de l'environnement. Grâce aux modèles développés dans ce cadre, ARKEMA pourra optimiser le comportement mécanique des matériaux polymères, composites et adhésifs, en étudiant les liens entre microstructure et comportement mécanique pour des applications variées (sport, nouvelle mobilité, énergie renouvelable).

La journée a été ouverte par la présentation de **Issam Doghri** (Université Catholique de Louvain) sur la modélisation du comportement thermomécanique de polymères semi-cristallins notamment par des approches d'homogénéisation périodique. Ces approches reposent sur une description fine de la microstructure cristalline à l'échelle des sphérolites et des lamelles cristallines induites par le procédé choisi. **Jean-Luc Bouvard** (Ecole des Mines, Sofia Antipolis) a ensuite présenté un travail sur la caractérisation mécanique en traction et compression et la modélisation numérique de mousses polymères viscoplastiques. La modélisation repose sur des calculs éléments finis avec des méthodes de fonctions de niveau

développées au CEMEF pour les métaux et maintenant étendus aux polymères. Lors du troisième exposé, **Yves Chemisky** (Université de Bordeaux) a montré comment l'utilisation de réseaux neuronaux pouvait avantageusement servir à l'estimation du comportement de structures réalisées en matériaux architecturés. Dans le cadre de chargements non-proportionnels, le comportement de cellules élémentaires architecturées est estimé par un double réseau neuronal qui est couplé à des éléments finis lors du calcul de structures. **Kostas Danas** (Ecole Polytechnique, Palaiseau) a proposé une méthode astucieuse de génération de matériaux extrêmement poreux (jusqu'à 90% de vide) basée sur le calcul de la déformée d'un matériau mou contenant une relativement faible porosité. Les microstructures générées ont été imprimées par impression 3D et testées mécaniquement puis finalement modélisée numériquement par la méthode des éléments finis.

En fin de matinée, ARKEMA, mécène du programme, a profité de cette journée pour exposer trois sujets d'intérêt pour lesquels les approches multi-échelles peuvent apporter des solutions dans le choix des matériaux les plus performants. **Gilles Hochstetter** a présenté les enjeux liés au développement de réservoirs à hydrogène en composites thermoplastiques. **Henri-Alexandre Cayzac** a discuté des propriétés mécaniques des mousses polyamides thermoplastiques élastomères. Enfin, **François Bargain** a présenté les hautes performances des copolymères PEBA[®].

La suite du programme a été animé par Grégoire Allaire, Professeur au Centre des Mathématiques Appliquées, Ecole Polytechnique et impliqué dans la chaire notamment sur les questions d'optimisation de forme.

En utilisant une approche à champ de phase couplée à des méthodes d'optimisation, **Julien Yvonnet** (Université Gustave Eiffel, Marne la Vallée) a obtenu des microstructures visant à maximiser la résistance à la rupture de composites biphasiques. Puis, motivé par des problématiques de génie civile, traitant de membranes utiles notamment en architecture, **Jeremy Bleyer** (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Marne la Vallée) a développé un modèle de membranes hyperélastiques qu'il a introduit dans une simulation d'optimisation de membranes non-linéaires. Les propriétés viscoélastiques des polymères ont été également sources de discussions lors des deux dernières présentations. **Renald Brenner** (Université Paris la Sorbonne) s'est intéressé à estimer le comportement homogène équivalent de matériaux hétérogènes composés de phases viscoélastiques décrites à l'aide de dérivées fractionnaires. Il a notamment démontré que certains cas pouvaient conduire à un modèle très simple. Enfin, pour clôturer la journée, **Antoni Joubert**, doctorant de la Chaire, co-encadré par Grégoire Allaire, Samuel Amstutz et Julie Diani, a exposé une partie de son travail de thèse portant sur l'optimisation de formes de structures viscoélastiques linéaires sous sollicitations dynamiques. Il a démontré le gain d'amortissement pouvant être obtenu pour des structures en vibrations libres et montré l'intérêt d'une modélisation 3D même pour des structures élancées lors d'optimisation sous-contraintes.

Ce symposium a illustré la grande diversité des méthodes multi-échelles pouvant être appliquées pour prédire, développer et optimiser les matériaux ou structures polymères. Il a également montré l'étendue des problématiques industrielles et questions fondamentales encore existantes.

*Contact : julie.diani@polytechnique.edu

[à propos de la Chaire](#) :

Depuis sa création en 2018, la Chaire ARKEMA « Design et modélisation de matériaux innovants » cherche à inventer les matériaux de demain avec un intérêt particulier pour

l'optimisation de leur comportement mécanique. Portée par Julie Diani du Laboratoire de mécanique des solides (LMS), en collaboration avec le Centre des mathématiques appliquées (CMAP) et avec le soutien d'Arkema, les recherches de cette Chaire se concentrent sur le lien entre microstructure et comportement mécanique des polymères et sur l'optimisation du comportement de structures polymères pour des applications variées telles que l'adhésion, le comportement dynamique...