



Sujet de Post-Doc

Développement de méthodes d'homogénéisation multi-échelle pour prendre en compte les effets d'interface entre inclusions et matrice.

Laboratoire et équipe de recherche : le post-doc se déroulera au sein de l'équipe de recherche Modélisation et Applications du Laboratoire de Mathématiques Nicolas Oresme (<https://www.lmno.cnrs.fr>) UMR 6139 Université de CAEN, BP 5186, 14032 CAEN-cedex

Contact: Philippe KARAMIAN, Enseignant-chercheur, Habilité à Diriger des Recherches, Université de Caen LMNO (Laboratoire de Mathématiques Nicolas Oresme). E-mail : philippe.karamian@unicaen.fr ; ☎ 02 31 56 74 61

Mots clés : Simulation numérique; Matériaux Composites; Homogénéisation; Éléments finis; FFT; Ondelettes; XFEM; Méthode Monte-Carlo; Domaine fictif; Calcul Haute performance OpenMP/ MPI, C/C++; Fortran; Python.

Contexte et objectifs

Les contraintes environnementales incitent les industriels à faire de plus en plus appel aux matériaux composites pour leur légèreté, leur performance mécanique et thermique, pour réduire l'emprunte carbone et gaz à effet de serre. Par ailleurs, pour une meilleure recyclabilité tout en préservant les caractéristiques et performances mécaniques des composites la matrice de type polymère qui sert à maintenir en cohésion les inclusions doit être de préférence thermoplastique plutôt que thermodurcissable. En outre, l'étude des matériaux composites est souvent basée sur des données expérimentales en l'absence d'une modélisation générique des matériaux composites.

Le groupe modélisation mécanique de l'équipe Modélisation et Applications du LMNO (Laboratoire de Mathématiques Nicolas Oresme) a développé des outils fiables, rapides, efficaces et robustes permettant la modélisation des composites (cf. [1], figures) ainsi que des méthodes d'homogénéisation numérique multi-échelle. Ces approches permettent la détermination des caractéristiques mécaniques (cf. [2]), thermiques ([3]) électromagnétiques des matériaux composites considérés en alliant les méthodes d'éléments finis ou la résolution des équations de Lippmann-Schwinger à partir d'algorithmes basés sur de la FFT. Pour la modélisation des hétérogénéités il faut adopter une approche stochastique en considérant que la position spatiale, l'orientation et la morphologie des hétérogénéités sont des variables aléatoires suivant des lois de probabilité pour concevoir des VERSN (Volume élémentaire représentatif stochastique numérique) lesquels sont ensuite maillés. Les maillages générés par triangulation ou voxels pour chaque VERSN ou VER issus de l'imagerie permettent alors un calcul d'homogénéisation multi-échelle, méthode basée sur les éléments finis développée par le LMNO pour les besoins des projets et collaborations avec des partenaires industriels. Un des défis majeurs qui est donc la clé de voûte pour le traitement de ces matériaux est la prise en compte de l'aspect aléatoire de la méthode d'homogénéisation multi-échelle d'une part, et d'autre part, considérer les phénomènes aux interfaces entre inclusions et matrice. L'évolution des moyens de calcul avec la mise à disposition du calcul haute performance, le développement des méthodes numériques innovantes et la confrontation des modèles numériques et expérimentaux ouvrent un nouveau chapitre de la modélisation et simulation des composites numériques pour une meilleure compréhension des phénomènes mis en jeu à l'échelle de la microstructure lesquels ont un impact sur le comportement macroscopique des matériaux. Ce travail s'inscrit dans cette perspective et dans la thématique des "Matériaux Innovants du Futur".

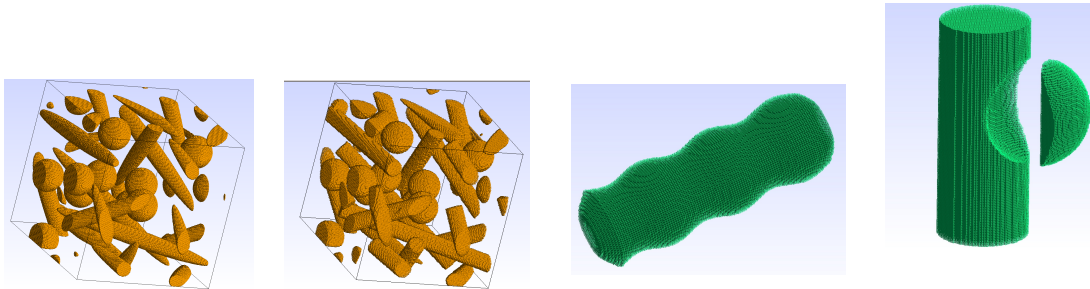
Travaux de Post-doc

Dans le cadre de ce post-doc, il s'agit de développer de nouveaux outils numériques capables de calculer rapidement et aussi précisément que possible dans le cadre des méthodes de Monte-carlo les propriétés effectives des matériaux composites tant du point de vue mécanique, thermique ou électrique. L'objectif est d'intégrer les effets de l'interface et de l'interphase matrice inclusions pour le calcul des propriétés macroscopiques via l'homogénéisation numérique et d'améliorer l'outil développé au sein du groupe modélisation mécanique. Le groupe modélisation mécanique souhaite à présent développer un outil de

résolution du problème d'homogénéisation basé sur la technique des ondelettes et/ou des techniques XFEM (Extended Finite Element Method) tout en combinant les méthodes issues des domaines fictifs.

Ce travail devra s'appuyer sur des développements récents tant du point de vue théorique que numérique effectués au sein du groupe modélisation mécanique. Le groupe Modélisation mécanique dispose des moyens de calcul intensifs haute-performance dédiés, piloté et mis à disposition par le CRIANN (Centre Régional Informatique et Applications Numériques de Normandie).

En outre, les avancées en modélisation et les outils numériques déjà réalisées durant la thèse de W. Leclerc [4] et les travaux de V. Salnikov et al. [1,2] et la thèse de S. Lemaitre constituent, un point de départ suffisamment étendu des travaux antérieurs pour permettre le développement des outils numériques nécessaires pour ce sujet de post-doc.



Modélisation des hétérogénéités au sein des VER numérique et prise en compte des morphologies variées des inclusions par ondulation, excavation, morphing etc.

Mots-clés Homogénéisation; Modélisation des composites; Domaine fictif; Eléments finis; FFT; XFEM; Ondelettes; Simulation numérique ; Méthode Monte-Carlo; Calcul Haute performance OpenMP/ MPI, C/C++; Fortran; Python ; Cython; NumPy; SciPy.

Profil et compétences recherchées du candidat

Le candidat devra avoir une culture scientifique solide dans le domaine de la mécanique des solides, des matériaux, si possible en composite et une très bonne maîtrise des méthodes numériques. Le candidat devra en grande partie travailler sur le développement de codes de calcul. L'idéale serait que le candidat ait une bonne maîtrise des outils de programmation en (C/C++, Python/Cython, Numpi, SciPy, Calcul Haute Performance, OpenMP/MPI en C/C++ et/ou Fortran) avec SourceSup plateforme d'hébergement web de gestion de projets informatiques de l'Enseignement Supérieur et des laboratoires de Recherches.

Lieu et période

Le post-doct sera effectuée au **LMNO** (Laboratoire de Mathématiques Nicolas Oresme <https://www.lmno.cnrs.fr>) à Caen et démarrera au plus tard le 01 /10/2019. Le LMNO est une unité mixte de recherche de l'université de Caen et du CNRS. Il regroupe l'ensemble des chercheurs en mathématiques et applications ainsi que quelques enseignants-chercheurs en mécanique de l'université de Caen, soit une cinquantaine de personnes en poste permanent. Il est structuré en quatre équipes de recherche : Géométrie, Représentations, Algèbre, Analyse, Logique; Théorie des nombres et géométrie arithmétique ; Modélisation et Applications ; Diffusion de la culture mathématique

Equipe

Le groupe modélisation mécanique de l'équipe de Modélisation et Applications (<https://meca.lmno.cnrs.fr>) travaillent sur les thèmes suivants : Composites, Problèmes inverses, Structures, Coques minces et Eléments finis – Modélisation en mécanique des fluides et des solides- Systèmes hyperboliques, modélisation de systèmes complexes. Le post-doc se déroulera au sein du groupe modélisation mécanique de l'équipe **Modélisation et Applications** sous la direction de Philippe Karamian dans la thématique composite et homogénéisation numérique.

Contacts

Les candidats intéressés devront envoyer leurs CV et lettre de motivation à :

– Philippe Karamian, philippe.karamian@uicaen.fr (+33 2 31 56 74 61) <https://karamian.users.lmno.cnrs.f>

Références

- [1] **Vladimir Salnikov, Daniel Choi, Philippe Karamian-Surville**, On efficient and reliable stochastic generation of RVEs for analysis of composites within the framework of homogenization. *Computational Mechanics* January 2015, Volume 55, Issue 1, pp 127-144
- [2] **Vladimir Salnikov, Sophie Lemaitre, Daniel Choi and Philippe Karamian-Surville**, Measure of combined effects of morphological parameters of inclusions within composite materials via stochastic homogenization to determine effective mechanical properties. *Composite Structures*, 129(0): 122-131, 2015
- [3] **Vladimir Salnikov, Sophie Lemaitre, Daniel Choi, Philippe Karamian**, Approche par la dynamique moléculaire pour la conception de VER 3D et variations autour de la pixellisation. *12e colloque national en Calcul des Structures mai 2015*.
- [4] **Willy Leclerc**, Une approche numérique fiable et automatisée de l'estimation des propriétés élastiques des microstructures complexes : application aux composites renforcés en fibres courtes. Thèse de doctorat, UCBN, Caen, 2013.
- [5] **Vincent Monchiet, Guy Bonnet** Numerical homogenization of nonlinear composites with a polarization-based FFT iterative scheme. *Computational Materials Science*, 79,276-283, 2013
- [6] **Vincent Monchiet**, On Combining FFT methods and standard variational principles to compute bounds and estimates for the properties of elastic composites. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 283,1, 454-473, 2015
- [7] **Hervé Moulinec F. Silva**, Comparison of three accelerated FFT-based schemes for computing the mechanical response of composite materials. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 97,13,960-985, 2014
- [8] **Jean-Claude. Michel, Hervé Moulinec, Pierre Suquet**, Effective properties of composite materials with periodic microstructure : a computational approach. *International Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 109-143,1999
- [9] **D.J. Eyre, G.W. Milton**, A fast numerical scheme for computing the response of composites using grid refinement. *Journal of Physique III*, 6, 41-47,1999
- [10] **E. Ghossein, Martin Lévesque**, Random generation of periodic ellipsoids based on molecular dynamics : A computationally-efficient algorithm. *International Journal of Computational Physics*, 49, 471-490, 2013
- [11] **E. Ghossein, Martin Lévesque**, Homogenization models for predicting local field statics in ellipsoidal reinforced composites : Comparisons and variations. *International Journal of Solids and Structures*, 49, 1287-1398, 2014
- [12] **E. Ghossein, Martin Lévesque**, A comprehensive validation of analytical homogenization models : The case of ellipsoidal particles reinforced composites. *Mechanics of Materials*,75 135-150, 2014

Date limite d'envoi des candidatures : 31 juillet 2019.