

Sujet de thèse :

Titre : Modélisation micromécanique linéaire et non linéaire des matériaux à textures co-continues

Contexte :



Figure 1. Exemple de phase co-continue [5]

Les matériaux composites présentant des phases interconnectées (appelés co-continus) suscitent l'intérêt des chercheurs à mesure que de nouvelles voies de procédés d'élaboration et de valorisation sont développées [5]. Ce type de microstructure peut se retrouver, par exemple, dans les matériaux issus de la métallurgie des poudres comme le composite tungstène-cuivre (figure 2).

Les microstructures co-continues ne peuvent être comparées ou modélisées de la même manière que les composites à phases matrice/inclusions non connectées, ou que les polycristaux et présentent souvent des propriétés mécaniques/physiques différentes par rapport à ces structures.

Les enjeux de la détermination des propriétés effectives, en amont, sont donc importants, afin d'optimiser leurs utilisations et le dimensionnement des structures associées. Les premières approches, en particulier, se sont basées sur les différentes méthodes d'homogénéisation élastiques existantes dans littérature. Plusieurs méthodes à champs moyens ont également été implémentées numériquement, dont celles développées au LSPM [2], montrant les progrès à accomplir pour être à même de bien approcher le comportement de ces composites.

Objectifs :

Ce travail de doctorat, effectué entre le laboratoire LSPM de l'Université Sorbonne Paris Nord et l'IMMC (Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering) de l'Université catholique de Louvain (Belgique) vise à contribuer à ces efforts de modélisation.

La stratégie retenue s'inspire de la démarche initialement développée au LSPM pour construire un modèle prédictif, en l'adaptant à partir d'approches tierces utilisées dans les modèles à champs moyens, notamment les démarches itératives. Ce travail s'accompagnera également d'une comparaison systématique entre les modèles analytiques d'homogénéisation linéaires développés pour les composites à phases co-continues et les modèles numériques en champs complets en utilisant l'outil numérique Digimat (Hexagon - Belgique), afin, en particulier, d'évaluer la pertinence des approches théoriques. Plusieurs volumes élémentaires représentatifs seront à développer, allant de la morphologie spinodale à des phases co-continues.

Ces approches seront ensuite étendues aux cas de comportements non linéaires [3], afin de prendre en compte de manière plus réaliste la nature des matériaux utilisés, en s'appuyant sur une des linéarisations utilisant les approches sécante ou sécante incrémentale [4]. Une attention particulière sera accordée aux comportements élasto(visco)plastiques.

En fonction de l'avancée du travail, des ouvertures vers la modélisation de l'endommagement, par des approches non locales ou par des approches en seconds gradients, seront envisagées.

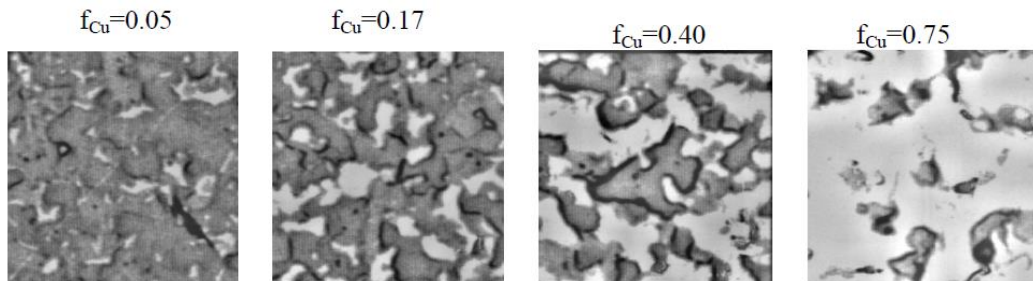


Figure 2 : microstructure pour différents composite W-Cu [1]

- [1] S. Schmauder et al., Modelling the deformation behaviour of W/Cu composites by a self-consistent matrixity model, 1999, Technische Mechanik, Vol. 19 (4), pp 313-320
- [2] P. Franciosi et al., Effective property estimates for heterogeneous materials with co-continuous phases, 2011. Journal of the Mechanics of Materials and Structures. Vol. 6(5), pp 729-763
- [3] L. Wu et al., A combined incremental-secant mean-field homogenization scheme with per-phase residual strains for elasto-plastic composites, 2013. International Journal of Plasticity, Vol. 51, pp 80-102.
- [4] S. Barboura & J. Li, Multiscale modelling of elastoplastic behaviour of co-continuous material, International Conference on Nonlinear Solid Mechanics, 2019.
- [5] E. Huang et al., A novel route to the generation of porous scaffold based on the phase morphology control of co-continuous poly (ϵ -caprolactone)/polylactide blend in supercritical CO₂. Polymer, 118, 163-172, 2017

Profil du candidat :

Master recherche en mécanique et calculs numériques

Solide compétence en mécanique, en calcul et analyse numériques, gout pour la programmation

Qualité rédactionnelles et de communication

Candidature : CV, lettre de motivation, et recommandations sont à envoyer à :

Salma Barboura (Université Sorbonne Paris Nord) salma.barboura@univ-paris13.fr

Jia Li (Université Sorbonne Paris Nord) jia.li@univ-paris13.fr

Issam Doghri (Université Catholique de Louvain) issam.doghri@uclouvain.be

Démarrage : octobre- novembre 2023.

Lieu de travail : Le laboratoire LSPM de l'université Sorbonne Paris Nord ; des séjours à Louvain sont à envisager (dans le cadre du projet PHC « Tournesol » France – Belgique 2024 en cours).

Durée : 3 ans de thèse (bourse ministérielle)

Thesis subject:

Title : Linear and non-linear micromechanical modelling of materials with co-continuous phases

Contexte :



Figure 1: Example of a co-continuous phase [5]

Composite materials with interconnected phases (or co-continuous phases) have attracted the attention of researchers as new processing and improvement methods have been developed. This type of microstructure can be found, for example, in powder metallurgy materials such as the tungsten-copper composite (Figure 2).

Co-continuous microstructures cannot be compared or modelled in the same way as composites with unconnected matrix/inclusion phases, or polycrystals. They often have different mechanical/physical properties compared to these structures.

The challenges of determining the effective properties are therefore important, in order to optimize their use and the design of the associated structures. The first approaches, in particular, were based on the various elastic homogenization methods available in the literature. Several mean field methods have also been implemented numerically, including those developed at the LSPM [2], showing the progress to be made in order to be able to approach the behavior of these composites.

Objectives:

This PhD project, carried out between the LSPM laboratory of the University Sorbonne Paris Nord and the IMMC (Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering) of the Catholic University of Leuven (Belgium) aims to contribute to these modelling efforts. The strategy adopted is based on the approach initially developed at the LSPM to develop a predictive model, by adapting it from other approaches used in medium field models, in particular iterative approaches.

This work will also be accompanied by a systematic comparison between the analytical linear homogenization models developed for co-continuous phase composites and the full-field numerical models using the Digimat numerical software (Hexagon - Belgium) in order to evaluate for instance the relevance of the theoretical approaches. Several representative elementary volumes will be developed, ranging from spinodal morphology to co-continuous phases.

These approaches will subsequently be extended to the case of nonlinear behavior [3], in order to take into account in a more realistic nature of the materials used using the secant or incremental secant approaches [4]. Particular attention will be paid to elasto-(visco)plastic behavior.

As the work progresses, openings towards damage modelling, by non-local approaches or by second gradient approaches, will be considered

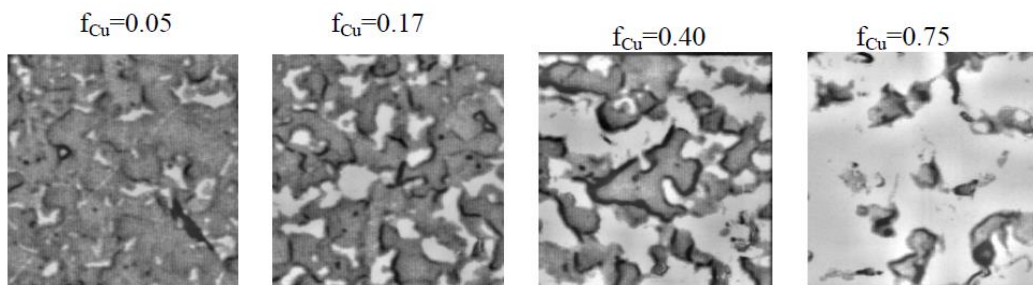


Figure 2: Microstructure for different W-Cu composites [1].

[1] S. Schmauder et al., Modelling the deformation behaviour of W/Cu composites by a self-consistent matrixity model, 1999. *Technische Mechanik*, Vol. 19 (4), pp 313-320

[2] P. Franciosi et al., Effective property estimates for heterogeneous materials with co-continuous phases, 2011. *Journal of the Mechanics of Materials and Structures*. Vol. 6(5), pp 729-763

[3] L. Wu et al., A combined incremental-secant mean-field homogenization scheme with per-phase residual strains for elasto-plastic composites, 2013. *International Journal of Plasticity*, Vol. 51, pp 80-102.

[4] S. Barboura & J. Li, Multiscale modelling of elastoplastic behaviour of co-continuous material, *International Conference on Nonlinear Solid Mechanics*, 2019.

[5] E. Huang et al., A novel route to the generation of porous scaffold based on the phase morphology control of co-continuous poly (ϵ -caprolactone)/polylactide blend in supercritical CO₂, 2017. *Polymer*, 118, 163-172.

Candidate background:

Master's degree in mechanics and numerical computation

Strong skills in mechanics, numerical calculation and analysis, taste for programming

Good writing and communication skills

Application: CV, covering letter, academic transcripts and letter of recommendation should be sent to :

Salma Barboura (Université Sorbonne Paris Nord) salma.barboura@univ-paris13.fr

Jia Li (Université Sorbonne Paris Nord) jia.li@univ-paris13.fr

Issam Doghri (Université Catholique de Louvain) issam.doghri@uclouvain.be

Starting date: October - November 2023.

Workplace: The LSPM laboratory of the Sorbonne Paris Nord University; stays in Leuven are to be considered (within the framework of the PHC project "Tournesol" France - Belgium 2024 in progress).

Duration: 3 years (ministerial grant).