

# Modélisation et conception de structures stratifiées en UHTCMC via une stratégie d'optimisation multi-échelles basée sur invariants tensoriels

RUMEN Tamara<sup>1,2,3</sup>, CATAPANO Anita<sup>2,3</sup>, MONTEMURRO Marco<sup>2,3,4</sup>, ESTE Alexia<sup>1</sup> et COSCULLUELA Antonio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CEA CESTA, F-33114 Le Barp, France

<sup>2</sup>Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, I2M, UMR 5295, F-33400, Talence, France

<sup>3</sup>Arts et Métiers Institute of Technology, CNRS, Bordeaux INP, Hesam Université, I2M, UMR 5295, F-33400 Talence, France

<sup>4</sup>Institut Universitaire de France

Adresses mail : Tamara.RUMEN@cea.fr , anita.catapano@bordeaux-inp.fr , Marco.MONTEMURRO@ensam.eu , Alexia.ESTE@cea.fr , Antonio.COSCULLUELA@cea.fr

**Mots-Clefs :** Composite à matrice céramique ultra-réfractaire, Modélisation multi-échelle, Volume Elementaire Statistiquement Représentatif, Homogénéisation numérique.

La demande de matériaux résistants à des conditions extrêmes étant en augmentation depuis plusieurs années, les composites à matrice céramique ultra-réfractaire (UHTCMC) apparaissent comme une solution prometteuse. L'émergence de cette classe de composites à matrice céramique (CMC) ouvre de nouvelles perspectives dans les applications de haute performance compte tenu de leurs propriétés physiques à très haute température et de leur résistance à l'oxydation.

L'objectif de la thèse est de mettre au point une démarche d'optimisation de structures en composite UHTCMC. Pour cela, des modèles hautes-fidélités, basés sur les échelles microscopique (échelle des constituants) et mésoscopique (échelle d'un pli), doivent être développés afin de comprendre le comportement du matériau et d'identifier les paramètres d'influence. Ensuite, des modèles basses-fidélités, basés sur les échelles mésoscopique et macroscopique (échelle d'un empilement de plis), doivent être développés afin qu'ils puissent être intégrés dans une boucle de conception et d'optimisation de structures.

L'UHTCMC étudié est constitué d'une architecture textile 2D carbone/carbone sous-densifiée dans laquelle des particules de céramiques ultra-réfractaires (UHTC) sont infiltrées. Afin de déterminer numériquement les propriétés mésoscopiques de ce matériau, il est nécessaire de modéliser finement la microstructure. Pour ce faire, des micrographies de l'UHTCMC sont analysées afin d'en extraire ses caractéristiques, qui sont ensuite intégrées dans un code de génération de microstructures. Ce dernier, développé en Python, permet de générer des Volumes Elémentaires Statistiquement Représentatifs (VESR) périodiques à l'aide d'une version améliorée de l'algorithme Drop & Roll [1][2]. Cette version permet de modéliser les différents constituants de l'UHTCMC avec des cercles de taille et d'espacement variables (fibres, porosité), ainsi que des polygones (UHTC). Les VESR générés sont ensuite utilisés comme entrées dans un code d'homogénéisation par éléments finis de l'I2M, permettant de calculer les propriétés mécaniques mésoscopiques du matériau. Enfin, les propriétés mécaniques obtenues alimentent un modèle analytique permettant de remonter aux propriétés du pli du stratifié, en prenant en compte le tissage. Ce modèle analytique, basé sur le "Bridging Model" d'Ishikawa et Chou [3], est généralisé au cas de la théorie des plaques de Reissner-Mindlin. Il sera une des briques des modèles basses-fidélités intégrés dans la boucle de conception et d'optimisation de structures.

## REFERENCES

- [1] W. Visscher, M. Bolsterli, Random packing of equal and unequal spheres in two and three dimensions, *Nature* 239 (1972) 504–507.
- [2] Y. Shi, Y. Zhang, Simulation of random packing of spherical particles with different size distributions, in: ASME 2006 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, American Society of Mechanical Engineers, 2006, pp. 539–544.
- [3] T. Ishikawa, T.-W. Chou, Stiffness and strength behavior of woven fabric composites, *Journal of Materials Science* 17 (1982) 3211–3220.