

Une méthode d'homogénéisation à champ moyen avec des interfaces imparfaites pour décrire la décohéssion des inclusions

A mean-field homogenisation scheme with imperfect interfaces describing progressive inclusions debonding

Timothée Gentieu^{1, 3}, Anita Catapano², Julien Jumel¹, James Broughton³

1 : Université de Bordeaux
I2M CNRS UMR 5295, 33400 Talence, France
e-mail : timothee.gentieu@gmail.com et julien.jumel@u-bordeaux.fr

2 : Bordeaux INP, Université de Bordeaux
I2M CNRS UMR 5295, 33400 Talence, France
e-mail : anita.catapano@bordeaux-inp.fr

3 : Joining Technology Research Center
Oxford Brookes University
Wheatley Campus, OX331HX, UK
e-mail : jgbroughton@brookes.ac.uk

L'addition d'inclusions rigides (fibres ou particules) est une pratique courante pour obtenir un matériau plus rigide et résistant que la matrice seule. Les matériaux composites obtenus de cette manière sont utilisés dans de nombreux secteurs, tels que l'aéronautique, l'aérospatiale, l'automobile, la construction, etc... Différentes propriétés mécaniques sont obtenues en faisant varier les constituants, la taille et la forme des inclusions, ou l'adhésion entre les constituants. La conception de ce type de matériaux complexes et hétérogènes requière la détermination de propriétés mécaniques équivalentes en utilisant, par exemple, des modèles multi-échelles prenant en compte les différents mécanismes d'endommagement.

Plusieurs mécanismes d'endommagement peuvent être observés pour ce type de matériaux : rupture de la matrice, des inclusions ou décohéssion inclusions/matrice. Ce dernier est le premier phénomène à être observé et est même prépondérant comparé aux deux autres d'après [1]. Il est donc fondamental d'être capable de prendre en compte ce phénomène dans les différents modèles utilisés. Une manière rapide d'obtenir les propriétés équivalentes d'un matériau hétérogène est la méthode d'homogénéisation à champ moyen. La méthode employée pour la présente étude est le modèle de Mori-Tanaka [2]. Afin d'enrichir cette approche pour prendre en compte la décohéssion progressive d'inclusions, les interfaces des de ces dernières sont considérées imparfaites et sont modélisées par des ressorts normaux et tangentiels décrivant un saut de déplacement aux interfaces. L'introduction de ces interfaces imparfaites dans le modèle de Mori-Tanaka a d'abord été réalisée par Qu [3], puis corrigée par l'intermédiaire d'un nouveau tenseur d'Eshelby modifié par [4].

Pour prendre en compte la décohéssion progressive des inclusions, la souplesse des interfaces augmente progressivement à mesure que l'inclusion se décolle de la matrice. Pour gérer ce comportement, l'évolution de la souplesse de l'interface est basée sur une loi bilinéaire de Modèle de Zone Cohésive (CZM) comme représentée sur la Fig. 1 (b). Le comportement obtenu pour le composite est donc : premièrement, un comportement linéaire élastique (mais avec des interfaces imparfaites), puis les inclusions commencent à se décoller et finalement

sont complètement déconnectées de la matrice et peuvent être remplacées par des vides (Fig. 1 (a)).

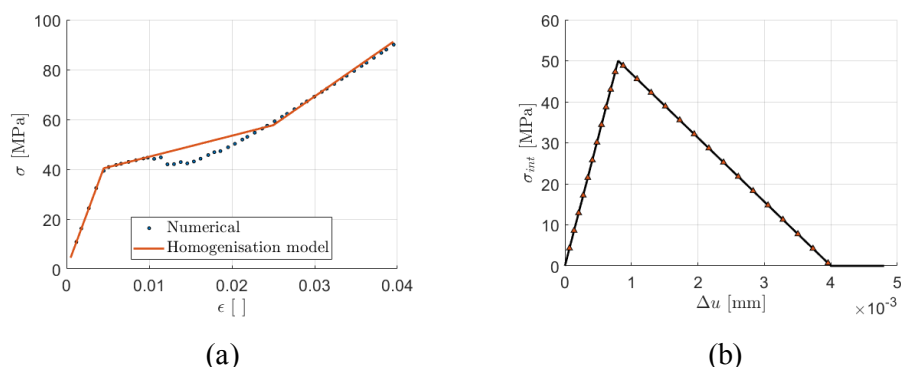


Fig. 1. (a) Courbes contrainte-déformation obtenues avec les modèles d'homogénéisation analytique et numérique (chargement hydrostatique).

(b) Evolution de la contrainte à l'interface des inclusions basée sur le modèle CZM.

Les résultats obtenus avec ce modèle d'homogénéisation à champ moyen sont comparés à des résultats d'homogénéisation numériques (voir Fig. 1 (a)) (méthode d'homogénéisation de l'énergie de déformation). Ces calculs éléments finis sont basés sur des volumes élémentaires représentatifs 2D avec des conditions aux limites périodiques développés dans [5]. Les comportements des inclusions et de la matrice sont linéaires élastiques mais des éléments cohésifs sont introduits à toutes les interfaces entre les inclusions et la matrice. Les effets de taille et fraction volumique des inclusions sont observés pour les deux modèles.

Remerciements

La DGA, qui supporte le premier auteur via une allocation de thèse 2015, est sincèrement remerciée.

Références

- [1] J Chen, M Yuan, Decoupling of viscous dissipation and damage dissipation in particulate-reinforced polymeric materials, *Computational materials science* 40 (2), 267–274, 2007.
- [2] Y Benveniste. A new approach to the application of mori-tanaka's theory in composite materials. *Mechanics of Materials*, 6:147-157, 1987.
- [3] J Qu. The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials. *Mechanics of Materials*, 14(4):269-281, 1993.
- [4] Y Othmani, L Delannay, and I Doghri. Equivalent inclusion solution adapted to particle debonding with a non-linear cohesive law. *International Journal of Solids and Structures*, 48(24):3326-3335, 2011.
- [5] T. Gentieu, J. Jumel, A. Catapano, J. Broughton, Computational modelling of particulate-reinforced materials up to high volume fractions: Linear elastic homogenisation, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 1464420717707227, 2017.