

MODÉLISATION DE LA RUPTURE POUR DES MICROSTRUCTURES HÉTÉROGÈNES PAR APPROCHES LEVEL-SET ET ADAPTATION DE MAILLAGE

Daniel Pino Muñoz^a, Victor Trejo Navas^a, Modesar Shakoor^{a,b}, Marc Bernacki^a,
Pierre-Olivier Bouchard^a

^a CEMEF - Mines ParisTech/PSL, daniel.pino_munoz@mines-paristech.fr, victor-manuel.trejo_navas@mines-paristech.fr,
marc.bernacki@mines-paristech.fr, pierre-olivier.bouchard@mines-paristech.fr

^b IMT Lille Douai, modesar.shakoor@imt-lille-douai.fr

Résumé

Nous nous intéressons ici à la modélisation de la rupture ductile à l'échelle d'une microstructure hétérogène. A cette échelle le nombre de paramètres et de variables de la microstructure peut augmenter très rapidement, alors le problème est simplifié en considérant que les hétérogénéités proviennent de la présence d'inclusions dans une matrice homogène. La rupture ductile est par conséquent décrite par les phases de germination, de croissance et de coalescence de pores. Nous adoptons une approche éléments finis (formulation mixte vitesse-pression $PI+/P1$) où les interfaces entre les trois phases (matrice, inclusions et pores) sont décrites par des fonctions de niveau (Level-set). Ces fonctions de niveau permettent de suivre l'évolution des trois phases et afin d'augmenter la précision de la méthode, des techniques de génération et d'adaptation de maillage pour discrétiser la microstructure sont utilisées. Avec cette méthodologie, les propriétés géométriques des fonctions de niveau sont conservées, ainsi que le volume et la morphologie de chaque composante de la microstructure, et ce pour de grandes déformations plastiques [1, 2, 3]. Ces méthodes numériques sont étendues pour permettre la modélisation de fissures aux interfaces entre certaines composantes de la microstructure, ou à l'intérieur même de ces composantes [4]. Ces mécanismes sont illustrés dans la Figure 1.

Cette nouvelle approche est particulièrement intéressante pour analyser les mécanismes de rupture ductile en fonction du trajet de chargement [5], de la nature des inclusions, de leur forme ou encore de leur densité. La stratégie numérique permet également de travailler sur des volumes élémentaires issus d'images de tomographie et donc sur des microstructures réelles. Cette technique est couplée à l'introduction de conditions aux limites provenant de DVC (Digital Volume Correlation) obtenues par analyse d'images de laminographie au cours d'essais de traction. Ceci est particulièrement intéressant pour mieux comprendre les mécanismes associés aux phases de germination de pores et de coalescence à l'échelle de la microstructure [6, 7].

La germination (par décohésion inclusion-matrice ou par fragmentation des inclusions, voir Figure 1) est basée sur des critères de rupture en contraintes. Lorsque ces critères sont atteints des fonctions de niveau décrivant la rupture sont introduites et le maillage est adapté en conséquence. La modélisation de la rupture de manière plus progressive à l'aide de modèles à zone cohésive permettrait, à terme, de mieux contrôler l'énergie de rupture. Cette technique numérique permet également de représenter la propagation d'une fissure par l'insertion dynamique d'éléments cohésifs. La nouveauté consiste à maîtriser la direction de propagation de la fissure à l'aide de l'adaptation de maillage.

Mots-clés : Endommagement ductile, Méthode level-set, Adaptation de maillage, Éléments cohésifs.

Références

- [1] M. Shakoor, V. Trejo Navas, D. Pino Muñoz, M. Bernacki and P.-O. Bouchard Computational methods for ductile fracture modeling at the microscale Archives of Computational Methods in Engineering, (2018) pp.1-40.
- [2] M. Shakoor, P.-O. Bouchard and M. Bernacki An adaptive level-set method with enhanced volume conservation for simulations in multiphase domains International Journal for Numerical Methods in Engineering, 109(4) :555-576, 2017.
- [3] M. Shakoor, B. Scholtes, P.-O. Bouchard and M. Bernacki An efficient and parallel level set reinitialization method - Application to micromechanics and microstructural evolutions Applied Mathematical Modelling, 39 (23-24), pp. 7291-7302, 2015.

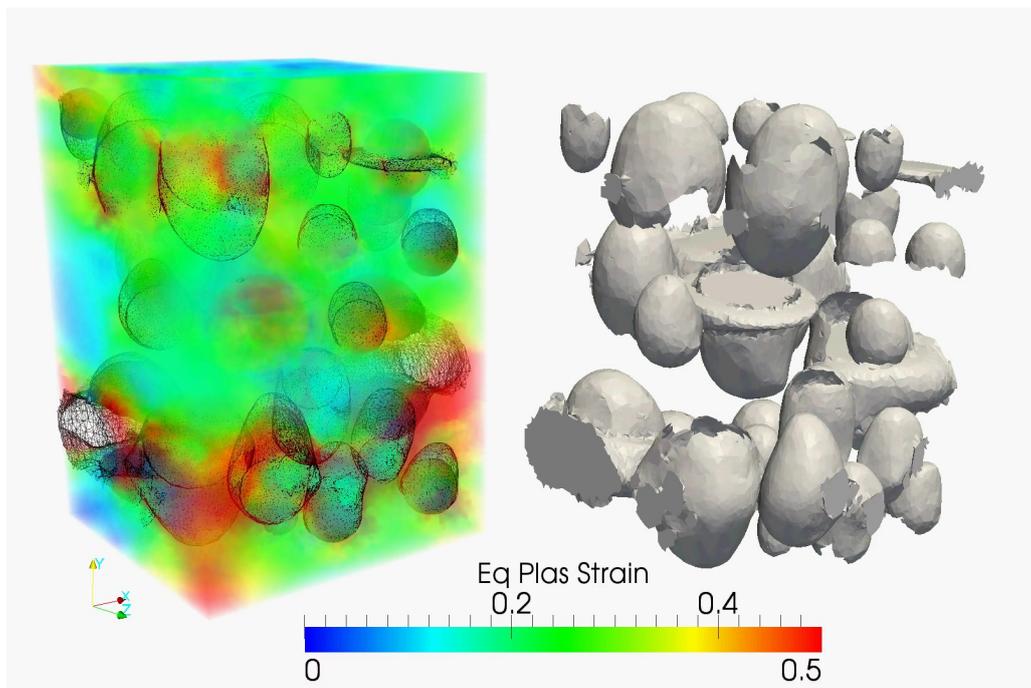


FIGURE 1 – Endommagement ductile la matrice et la décohésion des interfaces inclusion/matrice pour un matériau composite.

- [4] M. Shakoор, M. Bernacki and P.-O. Bouchard *A new body-fitted immersed volume method for the modeling of ductile fracture : analysis of void clusters and stress state effects on coalescence* *Engineering Fracture Mechanics*, 147 (2015) pp. 398-417.
- [5] E. Roux, M. Shakoор, M. Bernacki and P.-O. Bouchard *A new finite element approach for modelling ductile damage void nucleation and growth - analysis of loading path effect on damage mechanisms* *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 22 (2014) pp.1-23.
- [6] A. Buljac, M. Shakoор, J. Negggers, M. Bernacki, P.-O. Bouchard, L. Helfen, T. Morgeneyer and F. Hild *Numerical validation framework for micromechanical simulations based on synchrotron 3D imaging* *Computational Mechanics*, 59(3) :419-441, 2017
- [7] M. Shakoор, A. Buljac, J. Negggers, F. Hild, T. Morgeneyer, L. Helfen, M. Bernacki and P.-O. Bouchard *On the choice of boundary conditions for micromechanical simulations based on 3D imaging* *International Journal of Solids and Structures*, 112 :83-96, 2017.