

Offre de stage M2 2025 : Modélisation des bulles de gaz dans un pli UD carbone/époxy pour l'aéronautique avec OpenFOAM

Localisation : Institut Clément Ader – IMT Mines Albi, France

Contexte :

Dans le domaine aéronautique, les matériaux composites stratifiés carbone/époxy sont largement utilisés pour leurs propriétés mécaniques spécifiques élevées. Cependant, la fabrication de ces matériaux soulève des défis liés à la formation de défauts internes tels que les bulles de gaz [1]. Ces bulles peuvent se former lors du processus de polymérisation de la résine époxy, affectant les propriétés mécaniques finales du composite. Les causes et mécanismes de formation et d'évolution de ces pores au sein du stratifié ne sont aujourd'hui pas encore totalement maîtrisés. Ainsi, la modélisation des pores à l'échelle d'un pli unidirectionnel (UD) lors de la compaction et de la cuisson des composites permettrait de mieux prédire ces phénomènes complexes. L'utilisation de la mécanique des fluides numérique (CFD) offre l'avantage de pouvoir modéliser les écoulements complexes des fluides (résine, gaz) en prenant en compte le comportement rhéologique et thermodynamique de la résine. Ainsi, le logiciel de CFD *open source* OpenFOAM.org est particulièrement visé dans le cadre de ces travaux, puisque l'accès au code source permet à la fois l'utilisation de solveurs créés par la communauté scientifique et l'implémentation de nouveaux solveurs adaptés au cas d'étude.

Objectifs du stage :

Cette offre de stage propose de travailler sur la modélisation sur le logiciel de CFD *open source* OpenFOAM.org de la nucléation et de la croissance des bulles de gaz dans une matrice époxy au sein d'un pli unidirectionnel carbone/époxy utilisé dans l'aéronautique, ainsi que leur interaction avec les fibres de carbone et la coalescence des bulles. Dans le cadre de ce stage, les solveurs *interFoam* (modélisation multiphasique), *bubbleFoam* (croissance et coalescence des bulles dans une phase liquide) et *reactingTwoPhaseEulerFoam* (réaction chimique et transfert de masse entre deux phases) seront probablement utilisés. De plus, l'approche micro-continuum et les solveurs associés [2,3,4] pourront être utilisés. L'approche micro-continuum permet de traiter la résine et les bulles de gaz comme des milieux continus tout en prenant en compte les interactions à l'échelle microscopique. Elle introduit une modélisation intermédiaire entre la description purement macroscopique et une approche discrète, adaptée aux interactions complexes entre la phase liquide, les bulles de gaz, et les fibres dans un matériau composite.

Premièrement le travail se focalisera sur l'amélioration d'un modèle de croissance de bulle déjà développé sur OpenFOAM, notamment en utilisant différents solveurs implémentés dans OpenFOAM. Dans un deuxième temps, ce modèle devra inclure un modèle de nucléation de bulle. Les résultats devront être ensuite validés avec des données expérimentales ou issues de la littérature scientifique.

Profil recherché :

Étudiant en dernière année d'école d'ingénieur ou en Master 2 avec spécialisation en mécanique des fluides, génie des matériaux, simulation numérique ou domaines connexes.

- Maîtrise des principes de la mécanique des fluides numériques (CFD).
- Expérience pratique avec OpenFOAM.org (ou autre logiciel de simulation CFD) souhaitée.
- Notions en matériaux composites, notamment dans les stratifiés carbone/époxy, et en rhéologie des polymères.
- Des compétences en programmation (C++, Python, ou autre) pour l'implémentation de modèles dans OpenFOAM seraient un plus.

Contacts : Anne-Lise Briard, anne-lise.briard@mines-albi.fr
Fabrice Schmidt, fabrice.schmidt@mines-albi.fr
Raffaele D'Elia, raffaele.delia@mines-albi.fr
Florentin Berthet, florentin.berthet@mines-albi.fr

Durée : 6 mois **Niveau** : Master 2 **Démarrage** : février 2025

Pour information, un stagiaire IMT Mines Albi est payé 29€ par jour.

- [1] Plessix, B. P. du. (2016). Analyses et modélisation du développement de porosités lors de la cuisson de pièces composites thermodurcissables hautes performance. *Http://Www.Theses.Fr*.
<http://www.theses.fr/2016NANT2132>
- [2] Soulaïne, C., & Tchelepi, H. A. (2016). Micro-continuum Approach for Pore-Scale Simulation of Subsurface Processes. *Transport in Porous Media*, 113(3), 431–456.
- [3] Carrillo, F. J., Bourg, I. C., & Soulaïne, C. (2020). Multiphase flow modeling in multiscale porous media: An open-source micro-continuum approach. *Journal of Computational Physics: X*, 8, 100073.
- [4] Carrillo, F. J., & Bourg, I. C. (2019). A Darcy-Brinkman-Biot Approach to Modeling the Hydrology and Mechanics of Porous Media Containing Macropores and Deformable Microporous Regions. *Water Resources Research*, 55(10), 8096–8121.