

## Offre de Postdoc 2025 – CEMEF

**Durée 12 mois – Début novembre 2025**

TITRE	<p align="center"><b><i>Modélisation des procédés de fabrication additive – Application aux alliages magnétiques à faibles pertes réalisés par feuilletage 3D</i></b></p>
Acronyme	FALSTAFF
Modalités d'encadrement	<p>Projet de recherche réalisé dans le cadre de l'équipe 2MS (Métallurgie, Mécanique, Structures et Solidification) du CEMEF (Mines Paris, PSL Université). Le post-doctorant sera encadré par différents permanents enseignants-chercheurs de l'équipe 2MS, et bénéficiera des moyens du laboratoire.</p> <p>Le contrat sera d'une année (12 mois).</p>
Objectif général	<p>Modélisation thermo-mécanique et microstructurale des procédés de fabrication additive poudre appliqués aux alliages magnétiques, dans le cadre du projet ANR FALSTAFF.</p>
Contexte	<p>La fabrication additive (FA) a conduit à une révolution dans la conception mécanique en autorisant la réalisation de pièces de forme complexe et de géométrie originale. Cependant, dans le domaine des machines électriques, la FA reste peu développée même si de nombreux universitaires et industriels étudient ses potentialités. Ces études sont poussées par la demande de machines de conversion d'énergie mécanique-électrique dans le cadre des véhicules électriques, voiture ou train, avec le souhait de disposer d'une forte puissance massique, associée à de faibles pertes. Les technologies FA apporteraient, ainsi, des innovations décisives dans ce domaine. Plus spécifiquement, le stator (partie fixe) des circuits magnétiques est un composant d'intérêt. Cette pièce essentielle est actuellement conçue à travers un empilement de tôles laminées isolées. Le projet ANR FALSTAFF vise à explorer de nouvelles voies de réalisation de ces éléments, en se libérant des contraintes géométriques, tout en préservant les propriétés magnétique des composants. Il s'agit donc d'un projet exploratoire, mais porté par la forte demande actuelle de systèmes de propulsion électrique.</p> <p>FALSTAFF regroupe cinq partenaires académiques (Laboratoire Roberval - UTC, Institut Carnot de Bourgogne – UTBM, CEMEF – MinesParis PSL), un institut de recherche (CEA-LITEN) et deux industriels (APERAM, ALSTOM). Il se propose, plus spécifiquement, d'explorer de nouvelles voies innovantes d'élaboration d'alliages ferromagnétiques, sous forme de composants feuilletés 3D, combinant structures magnétiques et isolantes. Différentes méthodes seront proposées, par voie poreuse ou association bi-matériaux, notamment à travers l'exploitation du procédé FLLP (Fusion Laser sur Lit de Poudre). De même, les alliages Fer-Silicium et Fer-Cobalt-Vanadium doivent être étudiés en tant que matériaux d'intérêt industriel. Des pièces tests feuilletées seront ainsi réalisées et caractérisées, afin d'analyser le lien entre paramétrie procédé et propriétés microstructurales, chimiques et mécaniques, dans le but de rechercher les conditions de réalisations optimales. Le post-doctorat proposé par le CEMEF vise à développer une modélisation thermomécanique des procédés de réalisation FA couplant approche Automates Cellulaires</p>

et méthode Eléments Finis (CAFE) permettant, à terme, l'étude du développement des structures de grains en cours de construction, et des textures résultantes.

Présentation  
détaillée

Le CEMEF a développé, ces dernières années, différents outils de modélisation numérique des procédés FA, permettant de suivre, autant, le dépôt de cordons de matière isolés, à l'échelle mésoscopique, que la réalisation de pièces de grandes dimensions à l'échelle macroscopique [1,2]. Des outils de modélisation thermomécanique et microstructuraux sont déjà accessibles, permettant une prédiction des structures de grain et une exploration de l'influence des paramètres de construction (puissance, vitesse des sources de chaleurs ...) ou des conditions de scans (trajectoire ...) (Fig. 1). Ces méthodes s'appuient sur le couplage entre deux résolutions. L'une, basée sur la méthode élément finis, résout les équations de conservation de la chaleur (évolution thermique), et du moment (prédiction des écoulements dans le bain). L'autre, basée sur l'approche automates cellulaires, s'appuie sur une grille de cellules, et permet le suivi des évolutions microstructurales (croissance des grains formés). L'activité réalisée dans FALSTAFF bénéficiera de ces outils et méthodes numériques et, plus généralement, de l'ensemble des connaissances et compétences acquises dans ce domaine.

Plus précisément, le projet de post-doctorat vise à développer une modélisation fiable des évolutions microstructurales dans les procédés FLLP, en lien avec les stratégies de construction. Des stratégies de dépôts complexes multicouches, comparables aux expérimentations, seront étudiées, avec l'introduction de couches isolantes. Les effets de puissance, vitesse et trajectoire de laser sur l'orientation et la morphologie des microstructures (approche couplée CAFE \ automates cellulaires – éléments finis) seront analysés, après validation expérimentale des outils numériques. En complément, les effets de composition et les transformations métallurgiques seront investigués avec l'outil Physalurgy [3]. Des constructions de complexité croissante (monocordon, voiles, cubes ...) seront réalisées par l'UTBM et le CEA-LITEN et caractérisées en termes de tailles et orientations des grains, par l'UTC (carte EBSD, Figures de pôles ...). Ces données expérimentales seront exploitées par le CEMEF pour valider les développements numériques, à travers la texture, les orientations des grains et la nature des phases formées. Les stratégies d'élaboration optimales seront investiguées aux échelles mésoscopique, en étudiant la stabilité de la zone fondue, et macroscopique, pour suivre les évolutions structurales à l'échelle des pièces [5].

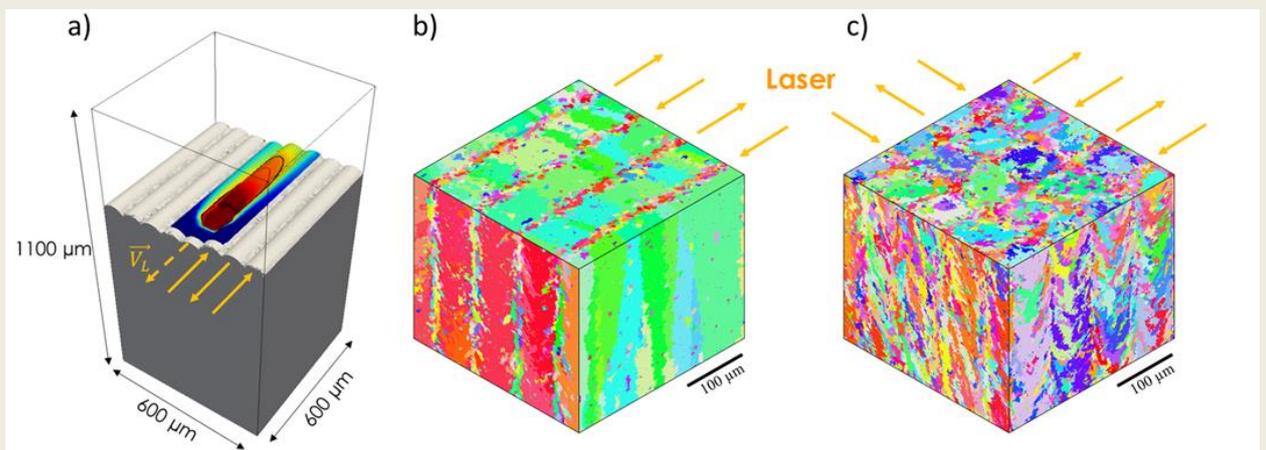


Figure : a) Simulation du procédé FA FLLP, par translation du champ thermique stationnaire et microstructure associée simulée par approche CAFE. Deux trajectoires sont considérées : b) trajectoire aller-retour sans modification des directions de parcours et c) rotation de 90° des directions de parcours entre couches consécutives (Doctorat T. Camus) [4].

	<p>L'intégralité des développements numériques enrichiront la librairie de calcul collaborative du CEMEF, Cimlib (C++). Le/la post-doctorant(e) recruté(e) bénéficiera ainsi des développements réalisés dans cet outil par les autres utilisateurs (méthode de remaillage, résolution numérique, approche parallélisée ...). Il/elle recevra la formation nécessaire à l'utilisation des outils informatiques du CEMEF et développera ses compétences dans le domaine de la science des matériaux et de la mécanique numérique.</p>
Réf. Bibliographiques	<p>[1] A. Queva, Simulation numérique multiphysique du procédé de fusion laser de lit de poudre - Application aux alliages métalliques d'intérêt aéronautique, Doctorat MINES ParisTech, CEMEF, 2021</p> <p>[2] Y. Zhang, G. Guillemot, M. Bernacki, M. Bellet, Macroscopic thermal finite element modeling of additive metal manufacturing by selective laser melting process, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 331 (2018), 514-535</p> <p>[3] PhysalurgY, bibliothèque de calcul CEMEF, <a href="https://physalurgy.cemef.mines-paristech.fr/">https://physalurgy.cemef.mines-paristech.fr/</a></p> <p>[4] T. Camus, D. Maisonnette, O. Baulin, O. Senninger, G. Guillemot, Ch.-A. Gandin, Three-Dimensional Modeling of Solidification Grain Structures Generated by Laser Powder Bed Fusion, Materialia, 30, 101804</p> <p>[5] C. Xue, N. Blanc, F. Soulié, C. Bordreuil, F. Deschaux-Beaume, G. Guillemot, M. Bellet, Ch.-A. Gandin, Structure and texture simulations in fusion welding processes – comparison with experimental data, Materialia (2021), 101305</p>
Valorisation	<p>Communication dans les congrès nationaux et internationaux</p> <p>Publication dans les journaux scientifiques du domaine</p>
Outils	<p>Librairies éléments finis, automate cellulaire, suivi des transformations métallurgiques (librairie PY)</p> <p>Clusters de calculs et formations associées</p>
Mots-clé	<p>Fabrication Additive, Solidification, Microstructure, Modélisation thermomécanique, Modélisation CAFE</p>
Profil & compétences	<p>Docteur diplômé dans le domaine des matériaux ou de la mécanique numérique, et attiré par les problématiques liées à la modélisation et la simulation numérique des phénomènes physiques.</p>
Lieu	<p>CEMEF, Sophia Antipolis (Site de Mines Paris - PSL)</p>
Equipe CEMEF	<p>Métallurgie, Mécanique, Structures et Solidification – 2MS</p>
Encadrant	<p>Charles-André GANDIN (<a href="mailto:charles-andre.gandin@minesparis.psl.eu">charles-andre.gandin@minesparis.psl.eu</a>)</p> <p>Gildas GUILLEMOT (<a href="mailto:gildas.guillemot@minesparis.psl.eu">gildas.guillemot@minesparis.psl.eu</a>)</p>

Vous pouvez postuler sur ce site : <https://applyfor.cemef.mines-paristech.fr/postdoctoral/>