



## Sujet de thèse

ÉTUDE MIXTE EXPÉRIMENTALE ET NUMÉRIQUE DE LA TENUE MÉCANIQUE EN FATIGUE DE PIÈCES ISSUES D'UN PROCÉDÉ DE FABRICATION ADDITIVE PAR FUSION LASER SUR LIT DE POUDRE MÉTALLIQUE.

### Introduction

Le projet de recherche proposé s'inscrit dans le cadre d'un programme d'investissement et d'avenir (PIA3) et vise à améliorer le procédé de fabrication additive sur lit de poudre métallique. Ce sujet d'actualité préoccupe la communauté scientifique comme en témoigne les thématiques scientifiques du GDR ALMA (Alliages métalliques par/pour la fabrication) créé en janvier 2020 sous l'égide du CNRS. Il est aussi un sujet stratégique d'un point de vue industriel car malgré l'expérience et le savoir-faire, les entreprises du secteur sont encore confrontées à des difficultés techniques conduisant parfois à des pièces mises au rebut. Par ailleurs, même si de plus en plus d'outils numériques existent sur le marché afin d'anticiper le bon déroulement du processus de fabrication additive sur lit de poudre, la multiplicité des facteurs machine et numérique influant sur le processus conduisent encore à des non-conformités de pièce. Le projet de recherche proposé s'inscrit dans la continuité d'une première thèse (Thèse de Mathias Cesbron soutenue en novembre 2020) qui portait sur l'analyse des microstructures et l'étude du comportement mécanique de pièces en alliage de titane issues d'un procédé de fabrication de poudre métallique (SLM). L'objectif de la présente thèse est de poursuivre ces travaux en se focalisant sur la problématique de la tenue mécanique en fatigue des pièces. La démarche scientifique mise en œuvre s'appuiera sur une méthode scientifique classique comprenant 5 volets détaillés dans les paragraphes qui suivent.

### Démarche scientifique

**État de l'art :** La recherche bibliographique doit permettre d'évaluer l'état de l'art en lien avec les aspects suivants : fabrication additive notamment par fusion laser sur lit de poudre métallique, post-traitements mécaniques et thermiques, modélisation et simulation numérique de la tenue mécanique en fatigue de pièces métalliques imprimées. Les résultats qui seront analysés, serviront en particulier à guider les choix de la modélisation du comportement en fatigue.

**Fabrication additive métallique :** L'imprimante 3D métal EOS M100 disponible au sein du laboratoire SYMME est qualifiée pour une large gamme de matériaux métalliques sous

forme de poudre tels que l'aluminium, le titane, les alliages de nickel, l'acier maraging et les alliages de chrome-cobalt. Les travaux seront réalisés sur l'acier 316L et/ou le titane Ti64. Le travail consistera à prendre en main l'imprimante 3D et à fabriquer les différents échantillons. Une bonne préparation des données est une condition préalable au bon fonctionnement du processus de construction. La pièce construite (données CAO) sera préalablement orientée et mise en position sur des supports au moyen du logiciel Materialise Magics. Ensuite, les données de pièce seront transformées en données de couche à l'aide du logiciel EOS RP-Tools puis transférées à la machine en tant que tâche de construction à l'aide d'EOSPRINT.

**Caractérisation métallurgique et mécanique :** Ce volet nécessite la mise en œuvre de moyens matériels et de compétences afin d'obtenir un ensemble de données expérimentales nécessaire à l'identification des paramètres matériaux des modèles de comportement sélectionnés et en vue de mieux comprendre l'origine des hétérogénéités microstructurales au sein des pièces à l'issue du procédé de fabrication additive. Sur la base d'éprouvettes modèles fabriquées, différents essais mécaniques seront réalisés principalement en fatigue. Parallèlement, une étude microstructurale et une analyse tomographique des échantillons seront conduites. Les résultats obtenus à ces différentes échelles permettront d'orienter le modèle de comportement à retenir et de constituer une base de données matériaux en fonction de son état : TTH, détente, revenu, recuit...

**Modélisation et simulation numérique :** Ce volet vise au travers de la modélisation et de la simulation numérique à (i) mieux comprendre les phénomènes physiques à l'origine des défauts (porosité, fissures, déformations liées aux contraintes résiduelles), (ii) prédire en fonction des paramètres opératoires les états de contrainte et déformation et (iii) fournir *in fine* une aide à la conception des pièces. La mise au point des simulations numériques passera tout d'abord par une phase d'identification des paramètres matériaux des modèles de comportement. Le calage des modèles à partir des données expérimentales est un point délicat qui pourra être abordé à partir de méthodes de type recalage de modèles EF par exemple. Les modèles retenus (modèles compartimentés, prenant en compte simplement les hétérogénéités du matériau) devront conduire à des temps de calcul compatibles avec les exigences industrielles et fournir des résultats suffisamment fiables tant du point de vue des tendances observées que de la précision des résultats. Ces travaux initialement mis au point sur un code de calcul EF maison seront alors déployés sur des codes de calcul industriels (Abaqus). La démarche se clôturera par la mise en place d'un processus méthodologique permettant de fiabiliser la mise en donnée numérique ainsi que maximiser la fiabilité des résultats.

**Confrontation modèle/expérience :** Il s'agira ici de construire un benchmark numérique afin de confronter les différentes approches. Une pièce de référence sera fabriquée. Un ensemble d'observables sera mesuré sur cette pièce et comparé aux résultats numériques. L'accent sera tout particulièrement mis sur la capacité de la démarche à prédire les déformations des pièces, les contraintes résiduelles à l'origine de la fissuration des pièces...

## Encadrement

Franck Toussaint – [franck.toussaint@univ-smb.fr](mailto:franck.toussaint@univ-smb.fr)  
Christophe Déprès – [christophe.depres@univ-smb.fr](mailto:christophe.depres@univ-smb.fr)

## Lieu du stage

Laboratoire SYMME - Campus d'Annecy

## Démarrage

Octobre 2021, possibilité de stage Master/Ingénieur dès avril 2021

## Profil et compétences recherchées

Formation de type Ingénieur et/ou Master Recherche en Mécanique et Matériaux  
Compétences en mécanique du solide, matériaux, expérimentation et simulation numérique  
Dynamisme et forte motivation pour la recherche scientifique  
Maîtrise de l'anglais

## Candidature

Envoyer CV, lettre de motivation, lettre(s) de recommandation et relevés de notes Master et/ou Ecole d'Ingénieurs à [franck.toussaint@univ-smb.fr](mailto:franck.toussaint@univ-smb.fr).

