



## Proposition de sujet de thèse

**Titre du sujet : Impact des paramètres de fabrication additive L-PBF sur la génération des défauts de surface et leur effet et la tenue en fatigue de pièces métalliques.**

### Description du sujet

La Fabrication Additive (FA) par fusion laser sur lit de poudre (L-PBF) est un procédé de fabrication qui occupe une position grandissante dans le milieu industriel et scientifique, du fait son aptitude inégalée à produire des pièces de grande complexité géométrique, proche des cotes finales (near net shape) et à moindre perte de matière première. En revanche, malgré l'avancement technologique de cette technique, elle manque de maturité sur différents aspects. Un des défis majeurs pour la technique L-PBF est la relative faible tenue en service des pièces fabriquées additivement [1]. Cette limitation est due, d'une part, à la présence de défauts de type porosités et parfois même du manque de fusion au sein des pièces imprimées [2], ce qui dégrade fortement leur tenue en service en fatigue, et empêche en pratique l'utilisation industrielle de ces pièces dans des positions à forte sollicitation mécanique (pièces aéronautiques de classe 1, par exemple). D'autre part, une forte rugosité de surface des pièces fabriquées additivement, principalement liée au phénomène de fusion de poudre par le faisceau laser [3] est très prononcée dans les surfaces inférieures de pièces (downskin), et dégrade aussi leur tenue mécanique.

Différentes études ont essayé de répondre aux problèmes liés aux défauts de fabrication et à la rugosité des pièces additives de manières différentes. Certaines se sont intéressées à l'étude de l'impact des paramètres d'impression sur la création de défauts et par conséquent la durabilité des pièces L-PBF [4][5]. Il est clairement noté l'effet néfaste de ces défauts, de surface et à cœur, sur la tenue en fatigue [6][7]. D'autres travaux ont adressé la surveillance du procédé L-PBF afin de détecter précocement les défauts de fabrication et les catégoriser. La surveillance est menée via différents types de capteurs installés autour de la chambre d'impression (accéléromètres, photodiodes, etc.) [8][9]. Ces études ont permis, entre autres, de créer des premières bases de données et de proposer des stratégies de détections plus ou moins fiables pour chaque type de défauts. Ces bases restent en revanche restreintes et sont à développer davantage.

La détection précoce des défauts, et les éventuelles stratégies de compensation, permettraient de réduire significativement les étapes d'inspection qui ont un impact économique considérable (jusqu'à 30% du prix de la pièce finale, notamment en cas de tomographie aux rayons X). Ceci dit, le gain principal visé par cette étude est d'abord de modéliser le lien entre les paramètres d'impression et les défauts de surface et en sous-couche immédiate, ainsi que le lien entre ces défauts et la tenue en service de pièces fabriquées additivement, afin d'obtenir des règles utilisables par les concepteurs de pièces.

Les résultats attendus et visés à terme sont :

- Disposer d'une méthodologie permettant pour tout nouveau couple matériau-procédé d'identifier la qualité attendue des surfaces en fonction des topologies et orientations de ces surfaces sur la pièce, en un minimum d'essais, standardisés.
- Disposer d'une première base de données d'états de surface, et du lien avec la tenue en service. (Cela n'a rien d'évident, car les états de surfaces en additif sont très différents de ceux issus des autres procédés et les coefficients correcteurs à appliquer sont différents), à partir des informations disponibles dans la littérature et à travers des essais de fatigue à grand nombre de cycles.
- Adapter pièce par pièce, voire surface par surface, voire en temps réel, les stratégies de lasage pour optimiser la qualité des surfaces réalisées.

## **Objectifs**

Les travaux visent à définir une chaîne complète d'action permettant de maîtriser la qualité de surface des pièces fabriquées additivement en L-PBF. L'objectif principal est de réduire les défauts de surface en termes de rugosité, mais aussi les porosités en sous-couche des pièces L-PBF, qui impactent le plus la durabilité des pièces additives.

## **Organisation des travaux**

- 1- Recherche et analyse bibliographique les différents types d'anomalies susceptibles d'être produites, en surface ou subsurface, lors du procédé L-PBF, leurs conséquences sur la tenue en fatigue, ainsi que les méthodes de surveillance adaptées, utilisables dans notre contexte.
- 2- Définition des géométries de référence à étudier, et leur fabrication via la technique L-PBF.
- 3- Identification du lien entre les paramètres de fabrication et la qualité des états de surface générés, et proposition d'un modèle prédictif des caractéristiques de l'état de surface.
- 4- Définition des géométries d'éprouvettes de fatigue, réalisation des essais, évaluation et modélisation de l'impact de ces défauts sur la tenue en fatigue.
- 5- Définition des méthodologies d'identification d'apparition des défauts, afin d'éventuellement reboucler vers la machine pour réaliser des actions correctrices.
- 6- Synthèse, dernières optimisations et perspectives.

## **Profil et conditions**

- Étudiant titulaire d'un Master 2 Recherche ou Bac+5 avec stage en laboratoire de recherche spécialité Mécanique/Génie Mécanique ayant de solides connaissances dans les domaines de la mécanique expérimentale, la modélisation numérique et la mécanique des structures.
- L'étudiant sera basé au sein du groupe de recherche Design Durability Process in Additive Manufacturing (D<sup>2</sup>PAM) du Laboratoire Génie de Production (LGP) de l'École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes (INP-ENIT), et utilisera, entre autres, les moyens de fabrication additive de la plateforme CEF3D ([www.cef3d.fr](http://www.cef3d.fr)).

**Mots clés :** Fabrication Additive métallique L-PBF, intégrité de surface, fatigue à grand nombre de cycles, mécanique expérimentale, surveillance, Intelligence Artificielle (IA) et Deep Learning.

## **Personnes à contacter**

Envoyer CV, lettre de motivation et lettre de recommandation à :

[Lionel.Arnaud@enit.fr](mailto:Lionel.Arnaud@enit.fr) et [Foued.Abroug@enit.fr](mailto:Foued.Abroug@enit.fr)

## Bibliographie

1. M. Zhang, C.N. Sun, X. Zhang, P.C. Goh, J. Wei, D. Hardacre, H. Li, [Fatigue and fracture behaviour of laser powder bed fusion stainless steel 316L: influence of processing parameters](#), Mater. Sci. Eng. 703 (2017) 251–261.
2. B. Zhang, Y. Li, Q. Bai, [Defect Formation Mechanisms in Selective Laser Melting: A Review](#), Chin. J. Mech. Eng. (2017) 30:515–527.
3. E. Santecchia, S. Spigarelli and M. Cabibbo, [Material Reuse in Laser Powder Bed Fusion: Side Effects of the Laser—Metal Powder Interaction](#), Metals 2020, 10, 341.
4. V.D. Le, E. Pessard, F. Morel, F. Edy, [Interpretation of the fatigue anisotropy of additively manufactured TA6V alloys via a fracture mechanics approach](#), Engineering Fracture Mechanics 214 (2019) 410–426.
5. Koutiri, E. Pessard, P. Peyre, O. Amlou, T. De Terris, [Influence of SLM process parameters on the surface finish, porosity rate and fatigue behavior of as-built Inconel 625 parts](#), Journal of Materials Processing Tech. 255 (2018) 536–546.
6. B. Vayssette, N. Saintier, C. Brugger, M. El May, E. Pessard, [Numerical modelling of surface roughness effect on the fatigue behavior of Ti-6Al-4V obtained by additive manufacturing](#), International Journal of Fatigue 123 (2019) 180–195.
7. Q. C. Liu, J. Elambasseril, S. J. Sun, M. Leary, M. Brandt, P. K. Sharp, [The Effect of Manufacturing Defects on the Fatigue Behaviour of Ti-6Al-4V Specimens Fabricated Using Selective Laser Melting](#), Advanced Materials Research 891-892 (2014) 1519-1524.
8. L. Scime, J. Beuth, [Anomaly detection and classification in a laser powder bed additive manufacturing process using a trained computer vision algorithm](#), Additive Manufacturing 19 (2018) 114-126.
9. S. Coeck, M. Bisht, J. Plas, F. Verbist, [Prediction of lack of fusion porosity in selective laser melting based on meltpool monitoring data](#), Additive Manufacturing 25 (2019) 347-356.