

Offre de thèse :

Optimisation de l'interpolation de trajectoires en fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre

Contexte de la thèse

La maîtrise du procédé de fabrication additive métallique L-PBF (Laser Powder Bed Fusion) passe d'abord par l'identification des paramètres influents puis par leurs contrôles tout au long de la fabrication. Tous les travaux académiques soulignent l'importance des trois paramètres suivants : la puissance du faisceau laser, la localisation du spot laser et sa vitesse lors du balayage de la couche de poudre. La maîtrise du procédé est donc en grande partie associée à la maîtrise de l'énergie apportée à la matière.

Le développement de ces travaux est cependant confronté à deux verrous scientifiques majeurs : la méconnaissance du comportement de la machine lors de l'exécution des programmes de fabrication, et la non-prise en compte de ce comportement réel dans la planification amont et le pilotage temps réel des actionneurs. Effectivement, la machine est souvent considérée comme une boîte noire, et seule la corrélation entre la pièce produite et les paramètres macroscopiques associés à la gamme de fabrication et aux trajectoires est actuellement effectuée. Or la Commande Numérique (CN) de la machine adapte localement la géométrie des trajectoires FAO ainsi que les paramètres de la recette de fabrication pour générer des consignes admissibles par les actionneurs [1] (source laser et galvanomètres permettant d'orienter et focaliser le faisceau laser). C'est pourquoi pour contrôler finement le procédé il est nécessaire de maîtriser et améliorer les traitements effectués dans la CN, on parle d'amélioration des stratégies d'interpolation.

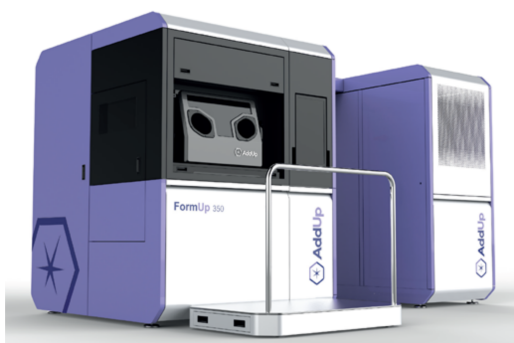


FIGURE 1 – Machine de fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre

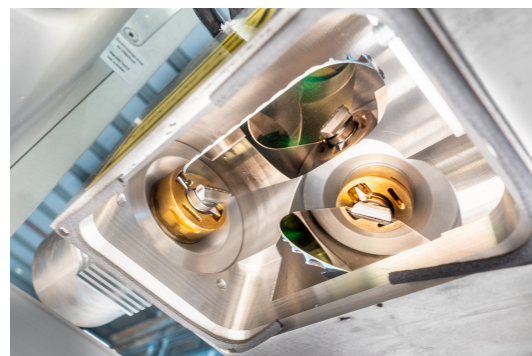


FIGURE 2 – chaîne opto-mécanique servant à réorienter le faisceau laser

De précédents travaux réalisés au LURPA nous ont permis d'identifier que les stratégies d'interpolation actuellement utilisées sur les machines de fabrication additive sont basées sur du filtrage (utilisation de filtre FIR - Finite Impulse Response) [2]. Ces travaux ont mis en évidence de nombreuses limites autant sur la maîtrise de l'énergie apportée à la matière que sur la trajectoire effective du spot laser. Effectivement les filtres implémentés ne permettent pas d'optimiser les consignes au regard de critère énergétiques et thermiques liés au procédé. Le développement et la mise en place de nouvelles stratégies d'interpolation adaptées au procédé permettraient donc

de produire des pièces avec de meilleures caractéristiques géométriques, métallurgiques et mécaniques [2–5].

C'est dans ce contexte que le LURPA propose un sujet de thèse financé par l'agence nationale de la recherche. Ce sujet s'inscrit dans le projet **ORACLE**. Cette thèse peut être précédée d'un stage commençant début 2023 (**sujet de stage**).

Objectifs

La thèse a pour objectif de contribuer au développement d'une commande numérique en fabrication additive métallique par fusion laser sur lit de poudre. Plus spécifiquement, il s'agit de développer des stratégies d'interpolation temporelle et spatiale permettant de tenir compte des contraintes relatives à la machine (structure machine, galvanomètres et source laser) et au procédé (vitesse, puissance) afin de maîtriser l'énergie apportée à la matière lors de la fusion.

Pour des questions de robustesse et de temps de calcul, les développements effectués s'appuieront sur des stratégies de filtrage des consignes FAO en intégrant les contraintes précédemment listées. Les travaux conduiront au développement de filtres adaptatifs permettant de moduler les consignes de vitesse, puissance et défocalisation. Ces stratégies d'interpolation seront étudiées à l'échelle locale afin d'optimiser des trajectoires dites de contour en se focalisant sur le passage d'un coin, et à l'échelle méso en étudiant un motif ou une stratégie de remplissage donnée. Effectivement, la diversité des trajectoires « zig-zag », « damier », « wobbling » actuellement employée conduit à des sollicitations cinématiques totalement différentes et donc nécessite des traitements différents. Les stratégies développées seront portées sur des architectures de commande industrielles et ensuite validées expérimentalement sur la machine L-PBF FormUp 350 disponible au LURPA (Figure 1).

La thèse de doctorat se focalisera donc sur les étapes 1, 3 et 4 présentées dans la figure 3.

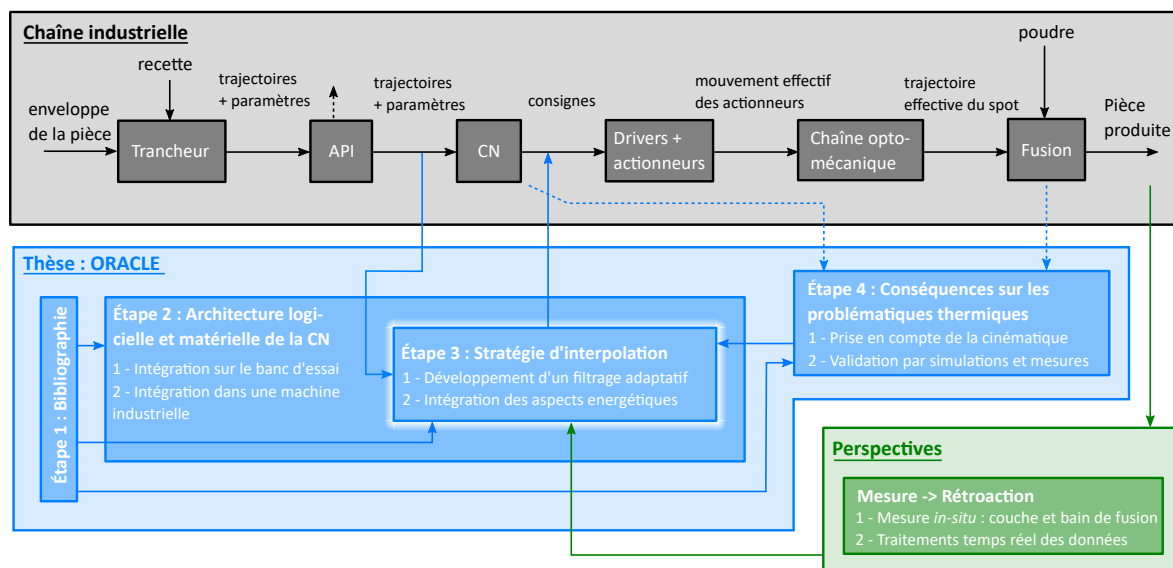


FIGURE 3 – Objectifs du projet ORACLE

Organisation de la thèse

Le(la) doctorant(e) pourra s'appuyer sur de nombreux travaux réalisés au préalable dans le laboratoire. Il(elle) sera amené(e) à réaliser les tâches suivantes :

1. Recherche bibliographique sur les architectures de commande et les stratégies d'interpolation utilisées en fabrication additive et leurs conséquences sur les pièces produites.
2. Expérimentation et analyse de l'impact des paramètres de la recette de fabrication et de la commande numérique sur la trajectoire effective du spot laser lors de l'impression.
3. Développement de stratégie d'interpolation intelligente tenant compte des contraintes machine et procédés (modulation de puissance, déformation de trajectoire ...)

4. Intégration des stratégies d'interpolation dans la commande numérique développée et validation expérimentale.
5. Utilisation d'un code de calcul développé au LURPA pour prendre en compte les aspects thermiques dans le développement de stratégies d'interpolation. Intégration dans la commande numérique et validation expérimentale.

De par la nature du sujet de thèse, le(la) doctorante(e) sera amené(e) à développer des algorithmes, les implémenter, faire des expérimentations et analyser les résultats. Cet ensemble de compétences très complet sera une très forte valeur ajoutée pour la future carrière du candidat.

Profil recherché

Ayant suivi, ou actuellement dans une formation Bac+5 en mécatronique /génie mécanique et/ou mécanique le(la) candidat(e) recherché(e) disposera des compétences suivantes :

- Mécanique du solide, dynamique des systèmes multicorps.
- Automatique continue, commande.
- Des compétences en informatique industrielle seraient un plus (programmation VHDL).
- Maîtrise d'un langage de programmation pour le calcul scientifique (Python ou Matlab).
- Autonomie, motivation et esprit d'initiative
- Un bon niveau d'anglais pour communiquer (article, conférence internationale ...)

Informations pratiques

Laboratoire d'accueil : LURPA, ENS Paris-Saclay

Localisation : Gif-sur-Yvette - 91190 - France

Équipe d'encadrement : Kevin Godineau, Sylvain Lavernhe

Début de la thèse : Septembre 2023

Rémunération : 2300€ brut par mois - avec possibilité de faire en plus des vacances ou des missions d'enseignement rémunérées.

Contact : pour avoir plus de renseignements n'hésitez pas à contacter

kevin.godineau@ens-paris-saclay.fr et/ou sylvain.lavernhe@ens-paris-saclay.fr

Candidatures

Pour candidater, merci d'envoyer 1) - un CV détaillé, 2) - une lettre de motivation, 3) - une lettre de recommandation ainsi que 4) - les relevés de notes de bac+3, bac +4 et bac+5 à l'adresse mail suivante : kevin.godineau@ens-paris-saclay.fr

Bibliographie

- [1] X. Beudaert, Open CNC : optimized interpolation for 5-axis high speed machining of complex surfaces, Theses, École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan (Jul. 2013).
- [2] K. Godineau, S. Lavernhe, C. Tournier, Influence of the CNC behaviour on the laser spot trajectory in LPBF process, in : Joint Special Interest Group meeting between euspen and ASPE Advancing Precision in Additive Manufacturing, St Gallen, Switzerland, 2021.
- [3] H. Yeung, B. Lane, M. Donmez, J. Fox, J. Neira, Implementation of advanced laser control strategies for powder bed fusion systems, Procedia Manufacturing 26 (2018) 871 – 879, 46th SME North American Manufacturing Research Conference, NAMRC 46, Texas, USA.
- [4] K. Ettaieb, K. Godineau, S. Lavernhe, C. Tournier, Offline laser power modulation in LPBF additive manufacturing including kinematic and technological constraints, Rapid Prototyping Journal 29 (1) (2023) 80–91.
- [5] H. Yeung, J. Neira, B. Lane, J. Fox, F. Lopez, Laser path planning and power control strategies for powder bed fusion systems, in : Solid Freeform Fabrication Symposium, 2016.