

## Sujet de thèse

Effets de la mise en forme de faisceau laser sur les propriétés des zones fondues et des matériaux élaborés en fabrication additive L-PBF. Apport d'essais instrumentés et du traitement par IA des données.

La fabrication additive métallique par fusion laser sur lit de poudre révolutionne les modes d'élaboration des pièces métalliques grâce à l'extraordinaire liberté de conception qu'elle offre. La maîtrise de la zone fondue générée par l'interaction laser-poudre, de sa stabilité, et de ses variations dimensionnelles en fonction des paramètres L-PBF est donc de première importance, tout autant que son incidence sur les propriétés des matériaux élaborés.

Le PEPR DIADEM (Dispositifs Intégrés pour l'Accélération du Déploiement de Matériaux Émergents <https://www.pepr-diadem.fr>) a pour vocation d'accélérer le développement de matériaux métalliques et des procédés associés, en se basant sur l'intelligence artificielle.

Dans ce cadre, le projet CINDERELLA (COntrôle de l'Impression 3D métallique par source laser innovante, modèle numérique augmenté et intelligence Artificielle) financé par le PEPR DIADEM, vise à repousser les limites du procédé de fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre (L-PBF). Le projet s'appuie sur des machines de fabrication L-PBF instrumentées permettant d'accéder à des données en cours de fabrication, et de tester des innovations possibles autour du procédé comme la mise en forme du faisceau laser.

Couplé à des méthodes d'apprentissage profond fondées sur le traitement statistique des données (liens paramètres d'entrée – variables cibles de sortie), le tout doit permettre d'élargir les domaines d'utilisation du procédé et de fiabiliser les propriétés des matériaux élaborés. L'utilisation de mises en forme (MEF) innovantes de faisceaux laser (annulaires, top-hat, mixtes, multi-points), se distinguant des faisceaux gaussiens classiques, sera l'un des vecteurs d'amélioration des procédés actuels.

Concrètement, la thèse aura pour objectifs : (1) de réaliser des expériences instrumentées de L-PBF (imagerie rapide et thermique) avec et sans MEF de faisceau, (2) d'analyser les matériaux élaborés (caractéristiques des zones fondues et des microstructures, taux de porosité) et leurs conditions de mise en œuvre (productivité) afin d'acquérir le plus de données possibles, (3) d'établir des modèles phénoménologiques permettant d'établir des liens entre les paramètres du procédé et les données post-mortem ou in-operando (imagerie rapide ...), (4) d'entraîner des IA guidées par la physique (*physically-informed IA*) sur ces modèles, (5) de fournir une validation expérimentale à des simulations numériques multiphysiques des zones fondues réalisées par ailleurs au sein de l'équipe.

La thèse sera réalisée au sein de l'équipe Procédés Laser du laboratoire PIMM (75013 Paris), en partenariat avec le SRMA du CEA Saclay.

Formation souhaitée : Master ou École d'Ingénieur en Sciences des Matériaux, physique ou énergétique, goût prononcé pour l'instrumentation, le traitement de données et l'IA.

Localisation : laboratoire PIMM, 155 Bd de l'Hôpital, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 75013 PARIS (<https://pimm.artsetmetiers.fr>)

Encadrement : Patrice Peyre (DR CNRS) ([patrice.peyre@ensam.eu](mailto:patrice.peyre@ensam.eu)), Morgan Dal (PU) ([morgan.dal@ensam.eu](mailto:morgan.dal@ensam.eu)), Christina Baslari (IR CEA) ([christina.baslari@cea.fr](mailto:christina.baslari@cea.fr)), Nicolas Hascoet (MCF) ([nicolas.hascoet@ensam.eu](mailto:nicolas.hascoet@ensam.eu))

Salaire mensuel : environ 1800 €/net

## **PhD position**

Effects of laser beam shaping on the properties of molten zones and materials produced in L-PBF additive manufacturing. Contribution of instrumented tests and AI data processing.

Metal additive manufacturing through laser melting on a powder bed is revolutionizing the ways of producing metallic parts, thanks to the extraordinary design freedom it offers. Mastery of the molten zone generated by the laser-powder interaction, its stability, and its dimensional variations depending on the L-PBF parameters are therefore of utmost importance, as is its impact on the properties of the manufactured materials.

The PEPR DIADÉM (Integrated Devices for Accelerating the Deployment of Emerging Materials, <https://www.pepr-diadem.fr>) aims to accelerate the development of metallic materials and associated processes, based on artificial intelligence.

In this context, the CINDERELLA project (Control of 3D Metallic Printing by Innovative Laser Source, Augmented Numerical Model, and Artificial Intelligence), funded by PEPR DIADÉM, seeks to push the limits of the laser powder bed fusion (L-PBF) additive manufacturing process. The project relies on instrumented L-PBF manufacturing machines that allow access to data during manufacturing and testing of possible innovations around the process, such as beam shaping.

Coupled with deep learning methods based on statistical data processing (links between input parameters and output target variables), this approach aims to expand the range of applications for the process and enhance the reliability of the properties of the manufactured materials. The use of innovative beam shaping (BS) techniques for laser beams (annular, top-hat, mixed, multi-point), distinct from classical Gaussian beams, will be one of the vectors for improving current processes.

Specifically, the thesis will have the following objectives: (1) to conduct instrumented L-PBF experiments with and without BS, (2) to analyze the manufactured materials (characteristics of the molten zones and microstructures, porosity rates) and their implementation conditions (productivity) to acquire as much data as possible, (3) to establish phenomenological models that link process parameters and post-mortem or in-operando (high-speed imaging ...) data, (4) to train physics-informed AI on these models, (5) to provide experimental validation for multiphysics numerical simulations of the molten zones carried out by the team.

The thesis will be conducted within the Laser Processes team at the PIMM laboratory (75013 Paris), in partnership with the SRMA of CEA Saclay.

**Desired qualification:** Master's degree or Engineering School in Materials Science, physics, or Energetics, with a strong interest in instrumentation, data processing, and AI.

**Location:** PIMM laboratory, Arts et Métiers Science & Technology, 155 Bd de l'Hôpital, 75013 PARIS (<https://pimm.artsetmetiers.fr>)

**Supervision:** Patrice Peyre (DR CNRS) ([patrice.peyre@ensam.eu](mailto:patrice.peyre@ensam.eu)), Morgan Dal (PU) ([morgan.dal@ensam.eu](mailto:morgan.dal@ensam.eu)), Christina Baslari (IR CEA) ([christina.baslari@cea.fr](mailto:christina.baslari@cea.fr)), Nicolas Hascoet (MCF) ([nicolas.hascoet@ensam.eu](mailto:nicolas.hascoet@ensam.eu))

**Monthly salary:** approximately €1800 /net