

---

## Sujet :

Étude expérimentale pour l'optimisation du procédé de fabrication additive par projection de poudre  
– application à la fabrication multimatériaux

---

## Tuteur ENSAM :

Morgan Dal (Maître de Conférence HDR ENSAM)

## Participation à l'encadrement :

Jason Guy Doctorant ENSAM et Elise Ferreira Safran Additive Manufacturing

## Contact :

[jason.guy@ensam.eu](mailto:jason.guy@ensam.eu)

## Lieu :

Laboratoire PIMM (ENSAM) - Paris

## Durée :

6 mois (début en Septembre 2021)

## Introduction :

Les procédés de fabrication additive, de plus en plus utilisés dans l'industrie, font aussi l'objet de nombreuses études d'optimisation et d'extension de gammes d'utilisation. Pour les métaux, deux technologies sont basées sur les procédés laser : la fusion sélective de poudre par laser (LPBF ou SLM) et la projection laser de poudre (LMD ou DMD). Le sujet présenté ici porte sur la projection de poudre et sur son optimisation en vue de produire des pièces dans des régimes dits « extrêmes ». En effet, ce procédé permet la construction de pièces par superposition de cordons unitaires (Figure 1). Ces derniers, ne sont en fait que des refusions de couches préalables dans lesquels sont injectés de la poudre métallique, produisant ainsi l'apport de matière. Chaque dépôt unitaire est donc dépendant de la forme de la zone fondue par le laser (puissance et vitesse), de la quantité de poudre injectée et du temps d'interaction entre la poudre et le laser.

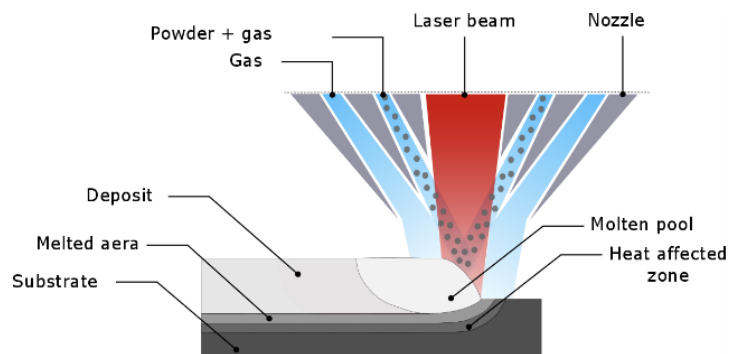


Figure 1 : Schéma de principe LMD.

Deux configurations limites peuvent être identifiées. Premièrement, le laser interagit essentiellement avec le substrat (ou la passe précédente) produisant une importante zone fondue dans laquelle est introduite une poudre froide, maximisant ainsi la notion de dilution – cette configuration sera dite « chaude » (puissance importante, vitesse faible et débit de poudre faible). Deuxièmement, le laser est absorbé majoritairement par la poudre, minimisant la dilution – cette configuration sera dite « froide » (puissance faible, vitesse élevée et débit de poudre important). La notion de dilution porte sur la quantité de matière apportée au regard de la matière refondue. Elle est critique lors de la construction de multimatériaux ou de gradients de matériaux et permet de gérer les interfaces entre matériaux. Malheureusement, en fonction des machines de fabrications, ces régimes ne sont pas toujours bien maîtrisés.

### Contexte du stage :

Ce stage vient en complément d'un travail de thèse (financé en partie par Safran) portant sur la modélisation de ce procédé de fabrication. Le stagiaire viendra donc en tant qu'assistant ingénieur pour développer techniquement des essais sur le process permettant de valider ces modèles.

### Objectifs :

Trois objectifs principaux sont identifiés :

- La recherche paramétrique des régimes chaud et froid directement sur la machine.
- La caractérisation physique de ces régimes (dimensions de zones fondues, dilution, température de poudre, ...) essentiellement au moyen de caméras rapides.
- La réalisation d'essais bi-matériaux à dilution contrôlée.

### Démarche :

Au regard des objectifs précédents la démarche sera la suivante :

- Prise en main de la machine et recherche paramétrique
  - o Préparation des échantillons
  - o Établissement de plans d'expériences
  - o Réalisation des essais
  - o Analyse des cordons – dilution (coupe, polissage, attaque chimique et microscopie)
- Analyse de données expérimentales (vidéos rapide) et mise en place de nouveaux diagnostics (température de poudre)
- Réalisation et analyse de fabrication bi-matériaux

### Prérequis :

Des prérequis spécifiques à la fabrication additive ne sont pas nécessairement demandés mais un goût certain pour l'expérimentation et le travail pratique est nécessaire. Le candidat devra faire preuve de rigueur, être méticuleux et autonome. Des compétences en programmation (Matlab ou Python) en vue de l'exploitation des données scientifiques seraient un plus.

**Moyens :**

Les essais seront réalisés sur une machine de fabrication additive métallique. Les moyens de mesures seront principalement de l'imagerie (classique et rapide) et les dimensions des pièces produites. Un accès ponctuel pourra être envisagé sur les machines industrielles Safran.