

## Appel à candidature pour une thèse sur la fabrication additive métallique par projection à froid "Cold Spray Additive Manufacturing"

### Intitulé de la thèse :

Fabrication de dépôts volumiques 3D à morphologie générique ou complexe par projection à froid

### Spécialité du doctorat préparé :

Sciences pour l'Ingénieur

### Mots-clefs :

Projection à froid, composants 3D, métaux, morphologie complexe, propriétés, programmation Matlab, simulation CFD et phase discrète, apprentissage automatique.

### Descriptif détaillé de la thèse :

#### Contexte technologique :

Parmi les méthodes additives de fabrication, la projection à froid est une variante récente qui se compare avantageusement aux procédés de projection thermique conventionnelles grâce à tous les bénéfices qu'on peut envisager du travail à froid, c'est-à-dire à basse température et à l'état solide. Cette méthode a révélé de nombreuses nouvelles possibilités y compris un large spectre de matériaux adéquats, de nouvelles solutions technologiques, de revêtements fonctionnels à base de matériaux avancés [1] ainsi que des combinaisons avec d'autres process favorables à un résultat optimal ou à de nouvelles prouesses [2]. Le prototypage 3D est un tout autre potentiel qui commence à être exploré. Peu d'études ont été menés à ce sujet mais les résultats sont encourageants. La projection à froid peut être utilisée pour la fabrication tridimensionnelle de pièce complexe avec l'obtention d'une forme finale brute assez proche de la forme réelle souhaitée [3]. Les avancées attendues portent sur la maîtrise du processus de déposition pour produire une morphologie moins brute et réduire au mieux les retouches d'usinage qui créent la forme finale préprogrammée. C'est l'objectif de cette thèse qui consiste à explorer l'ensemble des possibilités permettant d'atteindre de tels résultats, en optimisant aussi le rendement de dépôt et les propriétés mécaniques des pièces élaborées.

#### Travaux envisagés :

Les travaux envisagés sont organisés en trois volets principaux dont le premier se focalisera d'abord sur le prototypage 3D de formes géométriques génériques. Cette partie porte plus concrètement à l'identification de trajectoires adéquates, leurs programmations ainsi que leurs explorations expérimentales, en tirant profit des connaissances déjà développées au sein de l'équipe LERMPS de l'Institut Carnot de Bourgogne [4,5]. On s'intéressera aussi aux difficultés qui en ressortent comme les limitations géométriques, les distorsions structurales, les problèmes d'encombrement et des autres problèmes que peut générer le prototypage 3D de pièces métalliques par la méthode additive Cold Spraying.

Le second volet propose une étude approfondie de la cinétique de croissance morphologique de dépôt pour l'ensemble des singularités géométriques de surface ou de coin qui caractérisent les

formes 3D envisagées. Il s'agira aussi d'étudier des configurations géométriques de déposition et leurs influences sur l'adhésion, le rendement, et la rectitude (morphologique et architecturale) attendue. C'est un aspect crucial dont la compréhension permettra d'anticiper la méthodologie générale de construction d'une pièce 3D par projection à froid. On s'appuiera sur des essais virtuels corroborés par des analyses expérimentales pour apporter tous les éléments indispensables à une bonne maîtrise des conditions de déposition y compris les paramètres opératoires, la typologie de buse et la configuration de dépôts. Les essais virtuels utilisent une simulation phénoménologique de la projection à froid, à l'aide des codes de calcul ANSYS ou COMSOL pour la partie écoulement supersonique diphasique gaz/particule (CFD/phase discrète), et le code de calcul Abaqus pour la cinétique de croissance de dépôt.

Le troisième volet est un travail de restitution qui dressera les préconisations pour la fabrication 3D par projection à froid reproduisant le plus fidèlement possible la forme 3D souhaitée. En outre, on cherchera aussi à établir des modèles prédictifs en développant des critères requis et/ou des lois de croissances géométriques de dépôts en fonction de variances de morphologie 3D. Ce travail de restitution comprendra aussi l'identification des conditions qui optimisent le rendement de dépôt en développant des algorithmes d'apprentissage automatique (Machine Learning) à partir de paramètres judicieusement choisis. L'ensemble des conditions optimales seront enfin utilisé pour l'élaboration d'échantillons afin de caractériser les variantes de propriétés générées et les traitements thermiques adéquates pour l'optimisation de propriétés d'usage. A partir des bases données générées, on développera des programmes pour prédire les paramètres opératoires en fonction des spécificités de la pièce (forme et propriétés). C'est un outil d'optimisation basé également sur l'approche apprentissage automatique.

#### Environnement et cadre de travail :

Les travaux de thèse se dérouleront au sein du laboratoire IBC-PMDM-LERMPS. Créé en 1986, le laboratoire LERMPS (Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Matériaux, les Procédés et les Surfaces) a intégré, en 2017, l'Institut Carnot de Bourgogne (ICB) qui est une Unité Mixte de Recherche du CNRS (UMR 6303). Basée sur le site de Sevenans (90) de l'Université Technologique de Belfort Montbéliard (UTBM), l'équipe LERMPS est rattachée au département Procédé Métallurgiques, Durabilité Matériaux (PMDM) de l'ICB. Le (la) candidat(e) disposera de différents moyens expérimentaux et numériques pour ses travaux de recherche (installation de projection à froid Cold Spraying et procédés associés, dispositif de diagnostic par imagerie rapide, logiciel de simulation multiphysique ANSYS, COMSOL, Abaqus, accès à un cluster pour les travaux de simulation numérique CFD/phase discrète, moyens d'observations et de caractérisations structurales). Ses travaux bénéficieront des avancées obtenues récemment dans le cadre de deux de thèses présentées cette année dont l'une porte sur l'apprentissage automatique en projection thermique tandis que l'autre concerne l'optimisation de la croissance de couche additive pour la construction de forme 3D par projection Cold Spraying (Figure 1). Le (la) candidat(e) affinera les modèles élaborés et les stratégies de fabrication de pièces 3D pour développer ensuite une maîtrise opératoire généralisable à des cas de pièces de forme complexe en privilégiant une approche d'optimisation par des essais virtuels (simulation multi-physique prédictive) et par l'apprentissage automatique (Machine Learning). Ce sujet de thèse n'est pas soumis à une clause de confidentialité permettant en cela la vulgarisation scientifique (conférence, publication, journée thématique) de l'ensemble des résultats obtenus.

#### **Informations complémentaires :**

Début de la thèse prévu pour le 1<sup>er</sup> septembre 2020. Rémunération : ~1400 net/mois + possibilité d'assurer des vacances en enseignement (mécanique, thermique, simulation numérique).

**Date limite de candidature (LM, CV, relevés de notes, copies des diplômes) : 10 juin 2020.**

**Profil recherché :**

Planification et conduite d'essais expérimentaux, programmation numérique, optimisation, méthodes de simulation numérique, connaissances en mécanique et matériaux.

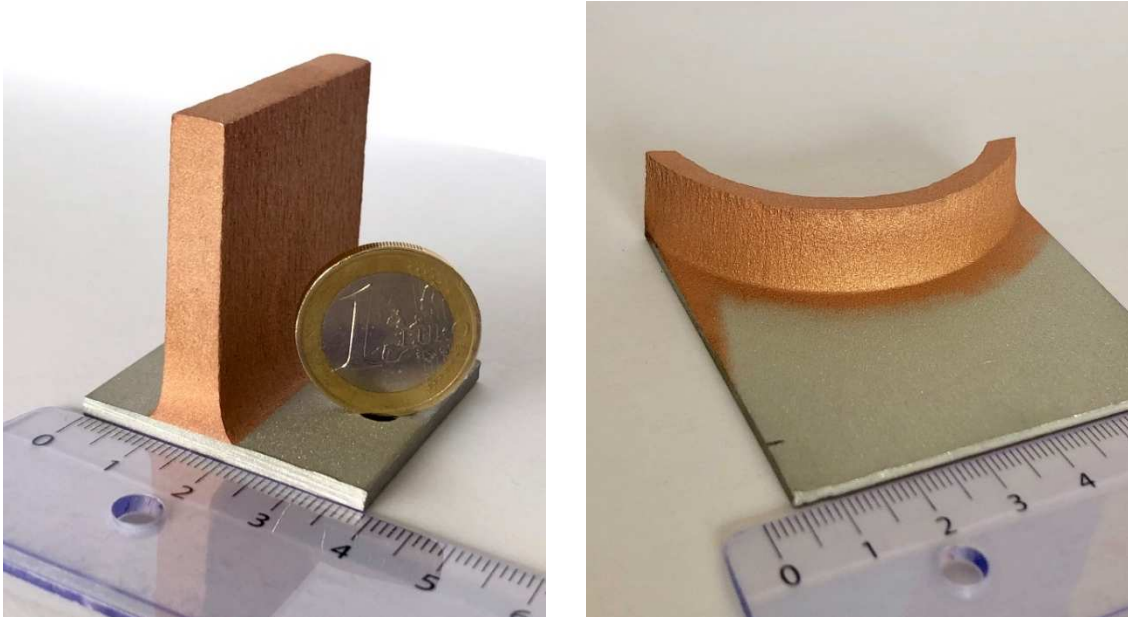


Figure 1 : fabrication additive 3D par projection Cold Spraying (résultats de thèse de Hongjian Wu)

**Références bibliographiques :**

- [1] R.N. Raoulison, C. Verdy, H. Liao, Cold gas dynamic spray additive manufacturing today: Deposit possibilities, technological solutions and viable applications, *Mater. Des.* 133 (2017) 266–287. doi:10.1016/j.matdes.2017.07.067.
- [2] R.N. Raoulison, Coeval Cold Spray Additive Manufacturing Variances and Innovative Contributions, in: *Cold-Spray Coat.*, Springer, Cham, 2018: pp. 57–94. doi:10.1007/978-3-319-67183-3\_3.
- [3] M.E. Lynch, W. Gu, T. El-Wardany, A. Hsu, D. Viens, A. Nardi, M. Klecka, Design and topology/shape structural optimisation for additively manufactured cold sprayed components, *Virtual Phys. Prototyp.* 8 (2013) 213–231. doi:10.1080/17452759.2013.837629.
- [4] A novel spiral trajectory for damage component recovery with cold spray - ScienceDirect, (n.d.). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897216310933> (accessed April 21, 2018).
- [5] S. Deng, Z. Cai, D. Fang, H. Liao, G. Montavon, Application of robot offline programming in thermal spraying, *Surf. Coat. Technol.* 206 (2012) 3875–3882. doi:10.1016/j.surfcoat.2012.03.038.

**Contact :**

Direction de la thèse :

Hanlin LIAO : tel : 0384583242, [hanlin.liao@utbm.fr](mailto:hanlin.liao@utbm.fr)

Co-direction de la thèse :

Sihao DENG : Maître de Conférences HDR, tel : 0384583280, [sihao.deng@utbm.fr](mailto:sihao.deng@utbm.fr)

Rija N. RAOELISON : Maître de Conférences, tel : 0384583097, [rija-nirina.raoelison@utbm.fr](mailto:rija-nirina.raoelison@utbm.fr)

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot De Bourgogne -UMR 6303 CNRS

Université de Bourgogne Franche-Comté/Université de Technologie de Belfort-Montbéliard