

Monitoring du procédé de fabrication additive laser-fil (WLAM) par l'utilisation d'une caméra thermique confocale

Nom de l'encadrant : Kevin Godineau - Nicolas Muller

Nombre d'étudiants : 2

Contexte :

école
normale
supérieure
paris—saclay



La fabrication additive métallique est un procédé relativement récent et novateur. Plusieurs technologies ont vu le jour : dépôt de fil, projection de poudre, fusion de poudre. La fabrication additive métallique sous énergie concentrée s'affirme au fil des recherches comme un procédé potentiellement compétitif pour l'obtention de pièces, l'ajout de fonctions ou la réparation de structures endommagées. En particulier, les procédés WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) et WLAM (Wire Laser Additive Manufacturing) offrent des taux de dépose supérieurs aux procédés sur lit de poudre tout en permettant de réaliser des formes complexes. De plus, ces procédés ne sont pas contraints par les problématiques hygiène, sécurité et environnement d'utilisation des poudres.

Les procédés WXAM (WAAM et WLAM) utilisent un métal d'apport sous forme de fil qui est fondu soit par un arc électrique soit par un laser haute puissance. La zone en fusion est nommée bain de fusion. Le déplacement de cet ensemble grâce à un système poly-articulé (robot + vireur) permet de créer des cordons (similaire à des cordons de soudure). L'agrégation de ces cordons permet de créer des pièces de forme complexe.

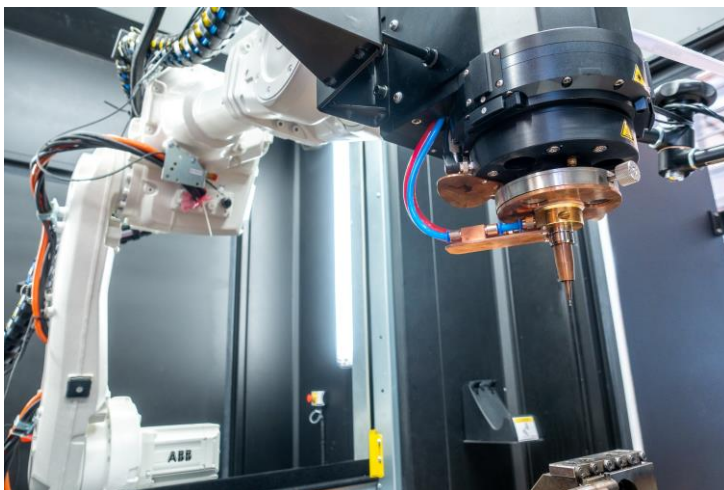


Figure 1a : robot 6 axes du LURPA et sa tête laser

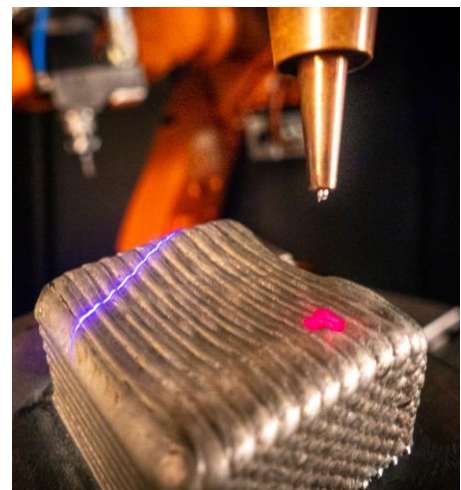


Figure 1b : pièce test produite

Figure 1 : cellule WLAM du LURPA

Les procédés WXAM souffrent cependant de plusieurs faiblesses parmi lesquelles une chaîne numérique encore à définir, un mauvais contrôle des paramètres de dépôt, l'accumulation de chaleur entraînant des déformations thermiques ... [Sin20]. En effet, la géométrie et la santé matière des pièces produites sont fortement dépendantes de la quantité d'énergie apportée par le laser, de la répartition spatiale de celle-ci, de la cinétique thermique,

et de nombreux autres paramètres procédés (vitesse du métal d'apport, vitesse de l'effecteur, orientation de l'effecteur ...). Afin de réaliser des pièces respectant une certaine classe de qualité et d'éviter les arrêts de production, il est nécessaire de bien comprendre tous les phénomènes sous-jacents et leur influence sur le pilotage du procédé.

En WAAM on trouve quelques travaux portant sur la mesure thermique au court de la production [Din21, Che22]. Cependant, le procédé WLAM étant très récent, on trouve peu de travaux reliés aux aspects thermiques. La cellule de fabrication du LURPA est équipée d'une caméra thermique confocale afin de mesurer le bain de fusion. Le terme confocal signifie que la mesure du champ thermique est effectuée en suivant le chemin optique du laser assurant ainsi une certaine qualité de mesure et surtout une visibilité directe du bain de fusion.

Objectifs :

L'objectif de ce TER est de synchroniser les données issues d'une caméra thermique (figure 2b) aux positions de l'effecteur afin de reconstruire un champ thermique 3D. Les travaux se concentreront sur l'acquisition et la synchronisation temporelle des différentes données issues des capteurs (position et vitesse robot, vitesse du métal d'apport, puissance), dans le but d'obtenir un modèle volumique augmenté de la pièce produite intégrant les cartographies : de températures mesurées, de puissance laser, etc. Une fois le modèle généré, de nombreuses analyses pourront être effectuées pour améliorer la compréhension des phénomènes physiques lors de la production et la maîtrise du procédé.

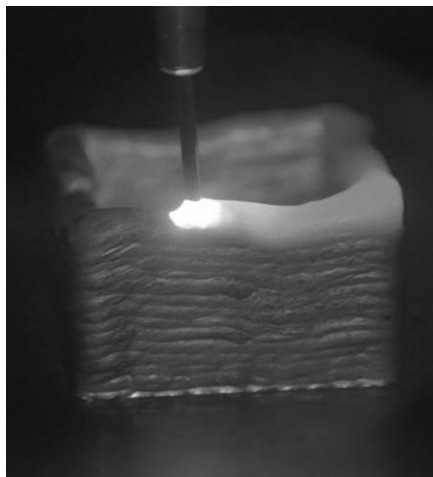


Figure 2a : image du procédé

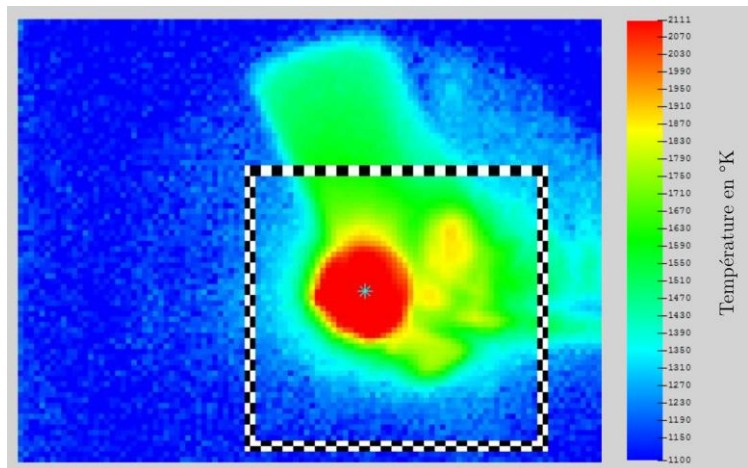


Figure 2b : image issue de la caméra thermique coaxiale.

Figure 2 : moyen de mesure optique disponible dans la cellule WLAM du LURPA

Planning des séances (Déroulement du TER) :

La première partie du TER portera sur une étude bibliographique en WLAM. Plus particulièrement, on s'intéressera aux aspects thermiques et en quoi la connaissance du comportement thermique permettrait d'améliorer le pilotage du procédé. En parallèle de cette étude, les étudiants prendront brièvement en main la cellule afin de pouvoir piloter le robot, produire des pièces et récupérer les différentes données issues des composants du procédé.

La seconde partie consistera à traiter les données acquises lors d'une production qu'ils auront réalisée, afin de construire une cartographie des différents champs représentatifs du

procédé de fabrication. Principalement, il s'agira de fusionner les données de position issues des capteurs du robot aux images prises par la caméra thermique pour créer une cartographie 3D du champ de température. Un post-traitement des images thermiques sera nécessaire pour extraire les données pertinentes. À cela, on pourra superposer d'autres données telles que les paramètres de puissance du laser, la vitesse d'apport de la matière et les différentes vitesses robot.

La fusion des différentes données permettra d'établir dans une troisième partie des corrélations entre les défauts géométriques et structuraux de la pièce, et les paramètres du procédé. Ces mesures pourront éventuellement être comparées à des simulations issues de logiciels de modélisation thermique WXAM

Enfin, suivant l'avancement des travaux, il sera envisageable d'implémenter des algorithmes de rebouclage afin de piloter les paramètres du procédé par des modèles, abaques et des mesures thermiques temps réelles. Ces travaux conduiront également à la rédaction d'un article de conférence.

Moyens mis à disposition :

- **Logiciels :** RobotStudio afin de piloter les robots et l'effecteur (tête WLAM composée du dévidoir et de la source laser). Logiciel d'acquisition de la caméra thermique
- **Matériels :** Une cellule WLAM à disposition au LURPA (robot 6 axes + dévidoir + source laser 4kW), une caméra thermique déjà calibrée et configurée, les moyens du LURPA et des laboratoires d'enseignements pour qualifier les pièces produites.

Partenaires éventuels dans ce projet :

Ces travaux de recherche s'inscrivent dans la continuité des travaux de thèse actuellement menés au LURPA dans le cadre du projet AWESOME (Développement de stratégies de fabrication par hybridation des procédés WXAM et usinage 5 axes de formes complexes). Ce TER se focalise plus sur le verrou 4 de ce projet de recherche : Contrôle en boucle fermée des trajectoires. L'idée est de mettre en place de mesures in-process ou in-situ pour développer et implémenter des algorithmes de mise à jour dynamique des trajectoires.

Bibliographie :

[Sin20] S. R. Singh, P. Khanna, Wire arc additive manufacturing (WAAM): A new process to shape engineering materials, In press, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.030>, 2020.

[Din21] D. Ding, S. Zhang, Q. Lu, Z. Pan, H. Li, K. Wang, The well-distributed volumetric heat source model for numerical simulation of wire arc additive manufacturing process, Materials Today Communications, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102430>, 2021.

[Che22] X. Chen, Y. Fu, F. Kong, R. Li, Y. Xiao, J. Hu & H. Zhang, An in-process multi-feature data fusion nondestructive testing approach for wire arc additive manufacturing, Rapid Prototyping Journal, <http://dx.doi.org/10.1108/RPJ-02-2021-0034>, 2022.

Email : nicolas.muller@ens-paris-saclay.fr, kevin.godineau@ens-paris-saclay.fr