

## Mise à jour dynamique du modèle géométrique produit en fabrication additive par dépôt de fil métallique (WXAM)

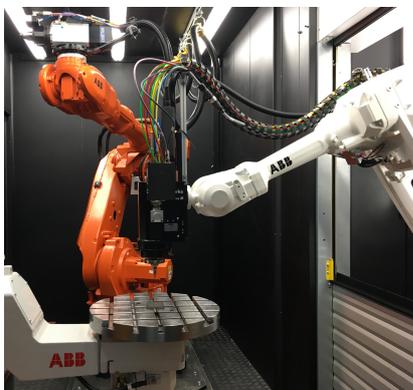
### Contexte

Dans le cadre du projet ANR AWESOME, le LURPA (Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée) de l'ENS Paris-Saclay et le G-SCOP (Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production) de l'Université Grenoble Alpes proposent un sujet de thèse sur la mesure et l'analyse des géométries produites en fabrication additive par dépôt de fil métallique sous énergie concentrée (WAAM, WLAM).

Le projet AWESOME (développement de stratégies de fabrication par hybridation des procédés WXAM et usinage 5 axes de formes complexes) a pour objectif de contribuer au développement d'un processus de fabrication hybride intégré permettant l'obtention de pièces de formes complexes par hybridation entre fabrication additive sous énergie concentrée et usinage 5 axes ainsi que les éléments clés de la chaîne numérique associée pour des pièces de type turbines hydrauliques. C'est un projet de recherche collaborative avec les entreprises Almacam et DP Research Institute.

La génération des trajectoires de dépôt de matière et d'usinage en Fabrication Assistée par Ordinateur s'appuie généralement sur une représentation et un positionnement relatif des diverses entités (brutes ou fabriquées) dans leur état nominal. Cependant, les procédés de dépôts de matière sous énergie concentrée génèrent des formes brutes dont la géométrie est parfois difficile à prévoir et dépend de phénomènes thermomécaniques très longs à simuler. Typiquement, des accumulations de matière ou des manques de matière peuvent apparaître dans certaines zones au fil de la production. Aussi, les écarts entre les géométries produites et nominales des entités fabriquées peuvent induire le besoin de modifier les trajectoires initialement planifiées pour éviter les lacunes de matière sur la pièce finale ou au contraire des collisions entre l'effecteur et la pièce en cours de fabrication. Il est donc nécessaire de développer des méthodes de mesures in-situ et les algorithmes de mise à jour dynamiques des trajectoires de dépôt et d'usinage via une actualisation de la géométrie réaliste exploitée par le logiciel de Fabrication Assistée par Ordinateur.

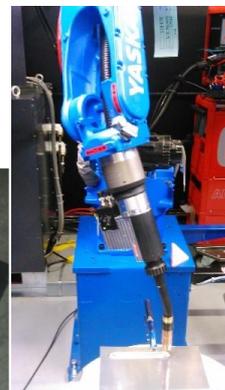
**Mots-clés :** fabrication additive métallique, stéréo-corrélation, modélisation géométrique, CFAO.



Cellule WLAM du LURPA



Exemple de pièces produites en WAAM



Cellule WAAM du G-SCOP

## Problématique

Si la mesure de chaque cordon peut se faire in-process, l'évaluation de la forme globale de l'entité pour mettre à jour la suite du processus ne peut se faire qu'une fois fabriquée, c'est-à-dire in-situ. La mesure in-situ regroupe l'ensemble des techniques de mesures réalisées dans l'enceinte de la machine sans démontage de la pièce, permettant une prise de décision rapide concernant la conformité géométrique. Cependant, un haut niveau d'intégration des données d'inspection aux données de fabrication représente une réelle difficulté. Dans le cadre des palpeurs à contact, cette problématique a été relativement étudiée notamment pour l'intégration des données CAO/FAO dans le processus d'inspection assistée par ordinateur (IAO). Cependant ces travaux mettent surtout en avant la planification de la mesure vis-à-vis de la fabrication et non la correction du processus à partir de la mesure. Les études sur les capteurs sans contact sont moins nombreuses, alors même que l'utilisation de système de vision représente un réel intérêt pour la détection de défaut en lien direct avec le modèle FAO. Si des travaux sur la mesure sans contact ont été développés en fusion sur lit de poudre, leur mise en œuvre sur les procédés WXAM est plus anecdotique pour le moment. Les travaux s'orientent donc vers l'utilisation d'un système de mesure par stéréo-corrélation d'images, la construction d'une base de défauts technologiques représentative des défauts liés aux entités.

## Travaux envisagés

1. Définir une base de défauts représentative des défauts géométriques obtenus pour les procédés WXAM sur les entités, à une échelle supérieure à celle des cordons. Pour réaliser cette tâche, il sera nécessaire de concevoir des entités de test, représentatives des pièces étudiées dans le projet AWESOME. À partir d'un plan d'expériences sur les paramètres du procédé et de mesures réalisées par un capteur à lumière structurée (Atos Core), il sera alors possible de construire une base de défauts technologiques par analyse en composante principale. Ces mesures seront menées hors ligne pour minimiser les incertitudes.
2. Développer une technique de stéréo corrélation d'images compatible avec la base de défauts préalablement définie et utilisable dans le contexte de fabrication du projet. Il s'agit d'étudier si la texture naturelle de la surface construite pourrait suffire pour la corrélation et d'exploiter pleinement les possibilités offertes par l'environnement de mesure, c'est-à-dire l'exploitation des axes 7 et 8 des cellules robotisées ; pour limiter le nombre de caméras à utiliser et mesurer entièrement la pièce produite. Les développements seront menés sur les deux procédés WLAM et WAAM qui ne génèrent pas forcément les mêmes textures.
3. Développer des algorithmes de reconstruction et un modèle de la géométrie avec défaut des entités brutes caractéristiques produites par les procédés WXAM. Un modèle continu avec des surfaces paramétriques ou explicites permettra d'assurer la mise en œuvre de modifications globales. Le modèle pourra le cas échéant être discrétisé pour produire un maillage compatible avec le modèle requis dans les logiciels Almacam et ESPRIT, des partenaires du projet éditeurs de logiciels de CFAO, Alma et DPRI. Recalage des trajectoires additives et soustractives, intégrées sous forme d'une chaîne numérique dynamique in-process. La mise à jour des trajectoires impactées sera effectuée à partir des briques de génération de trajectoires de ces mêmes logiciels.

## Informations utiles

**Début de la thèse** : démarrage des travaux le 01 septembre 2022.

**Laboratoires d'accueil** : les travaux de thèse seront menés au :

- LURPA à l'ENS Paris-Saclay (4 Av. des sciences 91190 Gif-sur-Yvette)
- G-SCOP à Grenoble INP (46 Av. Félix Viallet, 38000 Grenoble)

Les travaux seront menés principalement au LURPA mais des déplacements financés par le projet sont à prévoir entre les deux sites.

**Encadrement** :

- Yann Quinsat (LURPA) directeur de thèse,
- Christophe Tournier (LURPA) co-encadrant,
- Nicolas Beraud (G-SCOP) co-encadrant.

**Profil recherché** : H/F, de formation Bac + 5 (Master Universitaire ou école d'ingénieur). Le(la) candidat(e) devra pouvoir justifier de compétences fortes en modélisation géométrique ainsi qu'en CFAO. Intéressé(e) également par la fabrication additive sous ses aspects expérimentaux, cette thèse vous apportera une expérience unique dans un projet collaboratif multi site, avec deux autres doctorants ainsi que deux partenaires industriels.



*Nouveaux locaux de l'ENS Paris-Saclay*



*Campus de Grenoble*