



<b>Descriptif de fonction : Doctorant</b>		<b>N° Fiche : DER/471</b>
Titre de la fonction exercée : <b>Doctorant (H/F)</b>		
Direction : DER (Direction de l'Expertise et de la Recherche)	Service : Robotique & Cobotique	
Fonction du N+1 : Responsable Equipe Robotique & Cobotique		
Encadrants : Mr. Paillard, Mr. Couturier, Mme Paquet	Lieu de Travail : Nantes et Bouguenais	
Type de contrat : CDD	Date de début : 01/10/2022	
Durée du contrat : 36 mois	Statut : Cadre	

## Présentation de l'IRT JULES VERNE

L'IRT Jules Verne est un centre de recherche mutualisé dédié au développement des technologies avancées de production et vise l'amélioration de la compétitivité de filières industrielles stratégiques. Le cœur d'activité de l'IRT consiste à transposer et intégrer des développements scientifiques matures ou des concepts techniques émergents dans les processus industriels liés à la production et la fabrication.

Centré sur les besoins de 4 filières industrielles stratégiques, aéronautique (Airbus, Daher, Stelia, Safran, Dassault Aviation, Zodiac, Latécoère,...), automobile (PSA, Renault, Faurecia, Plastic Omnium, Valeo, ...), énergie renouvelable (General Electric, Siemens,...) et navale (Naval Group, Chantiers de l'Atlantique...), ses équipes mènent des recherches en mode collaboratif en s'associant à des entreprises qui développent et déploient des solutions pour l'usine du futur (machines et équipements de production, outillages, robots, logiciels de production, ...) ainsi qu'aux meilleurs académiques dans le domaine du manufacturing.

Au sein de l'IRT Jules Verne, la R&D est organisée autour de trois domaines, la **Conception Intégrée Produits/Procédés**, Les **Procédés Innovants de Fabrication** et les **Systèmes Flexibles et intelligents** dans lesquelles les Equipes de Recherche Technologiques Modélisation et Simulations, Procédés Composites, Procédés additifs & Métalliques, Contrôle & Monitoring et Robotique & Cobotique travaillent en synergie pour proposer les innovations et briques technologiques nécessaires au développement des technologies avancées de production.

Créé en 2012, les chiffres clés de l'IRT Jules Verne sont les suivants :

- 75 membres et partenaires industriels et académiques.
- 25 M€ de chiffre d'affaires annuel, et un portefeuille cumulé représentant 203 M€ de projets de recherche depuis sa création.
- 133 personnes et 20 M€ d'équipements de recherche structurants.
- 49 brevets déposés.

## Présentation du contexte et de l'Equipe ROC

L'équipe de recherche technologique Robotique & Cobotique, composée d'une vingtaine de personnes (Docteurs, Ingénieurs & Techniciens), est en charge de développer et déployer des technologies innovantes dans les cinq thématiques de la feuille de route de l'IRT Jules Verne :

- *La mobilité dans l'espace industriel*
- *La flexibilité de la production*
- *L'assemblage*
- *Les procédés de préformage et formage*
- *Les procédés de fabrication additive*

L'ERT ROC développe en particulier des activités et des compétences dans les axes suivants :

- Mobilité 2D/3D des systèmes (manipulateurs mobiles, crawler, robots parallèles à câbles)
- Assistance aux opérateurs (robotique, cobotique, réalité augmentée)

- Positionnement et la Localisation (fusion de données, SLAM, asservissement visuel)
- Interface avec l'Usine Digitale (Données, Systèmes Cyberphysiques)

Pour cela, l'ERT ROC s'appuie sur des relations de confiance établis avec des industriels clés (Renault, Airbus, Faurecia, STX, GE, Naval Group, Safran, PSA, ...), des académiques (Ecole Centrale de Nantes, Institut Mines Telecom Atlantique, Université de Nantes, CNRS, ENSAM...), des centres techniques comme le CETIM ou le CTI-PC.

L'équipe est chargée de repérer et de relier un large spectre de compétences issues de disciplines scientifiques variées (exploitation et transfert des résultats scientifiques) et de secteurs industriels différents (fertilisation croisée et transfert technologique entre filières) pour élaborer des réponses innovantes aux enjeux technologiques de l'IRT Jules Verne. Les développements technologiques sont à mettre en perspectives avec les 4 secteurs d'activités industriels clés de l'IRT JV : l'aéronautique, l'automobile, les énergies marines et la construction navale.

Les projets menés dans l'ERT ROC sont de natures variées allant des projets collaboratifs multi partenaires industriels de l'IRT JV, de la recherche sur contrat mono partenaire et sur des projets européens. L'ERT ROC est investie dans des projets de R&D de taille variable allant de la prestation à des projets de plusieurs millions d'euros.

## Présentation du sujet de thèse

Afin d'aider les partenaires industriels à garder une longueur d'avance technologique, l'IRT Jules Verne a créé le programme PERFORM (ProgrammE de Recherche FONDamentale et de Ressourcement sur le Manufacturing) qui stimule le développement de la recherche amont par le financement de grappes de thèses de doctorats portant sur des problématiques industrielles identifiées. Le programme est cogéré par l'IRT Jules Verne et ses partenaires industriels et académiques.

Les procédés de fabrication additive sont en développement depuis de nombreuses années. Beaucoup d'industriels s'y intéressent en raison des avantages concurrentiels que peuvent apporter la maîtrise de ces procédés, si les pièces sont conçues spécifiquement pour eux (rapidité de conception et de réalisation des pièces, grande souplesse dans le design, gain de matière, gain de poids, ...). Parmi ces procédés, ceux appartenant à la famille DED (Directed Energy Deposition) sont particulièrement intéressants car l'apport de matière par projection de poudre ou par fusion de fil donne plus de liberté et permet la fabrication de pièces de plus grandes dimensions. Chaque année, de plus en plus de pièces industrielles sont fabriquées avec de tels procédés. Cependant, un frein majeur s'oppose à leur plein développement : il s'agit de la maîtrise des procédés de fabrication basée sur une approche multiphysiques de type procédés - matériaux tout en gardant les meilleures propriétés d'usage (mécaniques notamment) des pièces produites.

Les procédés WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing), donc de fabrication additive par dépôt de fil métallique avec des procédés de soudage à l'arc, sont de plus en plus utilisés et envisagés dans diverses industries manufacturières liées à leurs nombreux atouts : taux de dépôt important, peu de perte de matière, etc. Cependant, la fabrication additive métallique DED par fusion de fil (WAAM) n'est pas encore dans sa phase d'industrialisation. Ceci étant dû en grande partie aux géométries des pièces à fabriquer qui sont assez délicates à maîtriser. Le cas de pièces simples (parallélépipèdes, cylindres, ...) et/ou peu volumineuses ne pose généralement pas de problème.

Pour des pièces complexes, il s'avère que dans grand nombre de cas, la forme de la pièce et/ou la taille des parois des pièces construites ne sont pas conformes à ce qui était souhaité. L'unique contrôle qui est, dans la plupart des cas, mis en place pour essayer de gérer ces problèmes est l'utilisation de systèmes de contrôle d'hauteur d'arc (type AVC, pour Arc Voltage Control). Ces systèmes permettent de gérer plus ou moins correctement la hauteur des cordons qui sont déposés mais ne gèrent en rien leur largeur et ne permettent pas de prévenir l'effondrement éventuel d'un dépôt.

Lorsque l'on fabrique une pièce par procédé additif WAAM, certains paramètres opératoires sont à prendre en compte comme le maintien de l'arc électrique, la maîtrise du bain liquide, les projections, la

géométrie des pièces, en particulier dans la direction d'empilement et aux jonctions, les déformations, etc. Le métal qui est fondu afin d'être déposé, entraîne des gradients thermiques importants et donc des transformations métallurgiques pouvant faire apparaître des défauts et des contraintes dans la matière déposée et donc affecter les propriétés mécaniques des pièces fabriquées.

Dans le cadre des procédés fil robotisés, il est nécessaire de maîtriser les interactions entre les paramètres du procédé et les mécanismes de transformation de la matière (contrôlés par les gradients thermiques, pilotés par les paramètres électriques et les vitesses de fil et de déplacement de la torche de dépôt, entre autres) ainsi que les caractéristiques de la machinerie robotisée de dépose (vitesse de dépose, position relative de la torche de dépose...) pour garantir la performance du procédé et la qualité de la pièce finale obtenue (en termes de respect de la géométrie de la pièce, de sa santé matière ainsi que des propriétés d'emploi minimales exigées). Il est donc capital de considérer le processus de fabrication dans son intégralité pour prendre en compte toutes les sources directes et indirectes ayant un impact sur la qualité de la pièce fabriquée.

La connaissance de la morphologie du cordon déposé est nécessaire pour la génération de trajectoires dont la hauteur de couche, avec la géométrie de la pièce, est la donnée principale pour obtenir des pièces avec une géométrie conforme au modèle CAO souhaité. C'est pour cette raison que, dans un premier temps, nous nous proposons dans le cadre de cette étude de gérer la géométrie des pièces obtenues en contrôlant durant la dépose non seulement les paramètres de dépôt (variation par rapport à la programmation), mais aussi la géométrie du cordon déposé (scanner 3D), la température du cordon déposé (pyrométrie et caméra thermique Infra Rouge). En nous basant sur un modèle de dépose qui serait fonction du matériau, de la forme de la pièce et des paramètres opératoires, nous pourrions ainsi être alertés de la présence éventuelle de non-conformité.

Dans un second temps, en intégrant à notre système des boucles de contrôle basés sur des grandeurs mesurables, nous pourrions en cas d'écart avec notre modèle réaliser des rectifications de paramètres opératoires et/ou de trajectoires.

En effet, il est possible de générer la trajectoire en fonction de la morphologie de cordon à déposer, mais aussi de faire varier la morphologie du cordon durant la fabrication en fonction de la trajectoire et des grandeurs mesurée sur le moyen de dépose ou sur le poste à souder.

En parallèle, nous envisageons le développement de modèles de simulation de notre procédé de fabrication additive automatisé avec le logiciel TRANSWELD actuellement déployé pour le soudage mais pas encore pour la fabrication additive WAAM.

Les matériaux envisagés sont des aciers à haute limite d'élasticité, des aciers inoxydables austénitiques et martensitiques et/ou des alliages d'aluminium.

Les travaux de recherche proposés dans le cadre de la thèse portent plus particulièrement sur la capacité à modéliser, simuler et optimiser le procédé pour permettre une meilleure compréhension des relations entre les paramètres process, le pilotage robotisé du procédé, les caractéristiques métallurgiques et mécaniques des pièces obtenues. L'approche scientifique s'appuie sur des campagnes expérimentales afin de déterminer les meilleures stratégies de fabrication et de mettre en place un monitoring in-situ du procédé dans le but de l'asservir en fonction des conditions opératoires. La transversalité du sujet permettra une compréhension plus fine des mécanismes multiphysiques mis en jeu lors de la fabrication et de proposer des boucles de surveillance et de rétroaction en boucles fermées afin de préparer des innovations futures liées à la réalisation de composants métalliques pour l'industrie manufacturière.

## Missions Principales

Rattaché(e) au responsable de laboratoire et au RERT (responsable d'équipe de recherche technologique), il/elle aura en charge les missions suivantes :

1)Etat de l'art sur :

- La Fab Add Métal DED
  - Monitoring des grandeurs mesurables durant l'impression (image, température paramètres électriques) et contrôle en ligne avec les principaux paramètres opératoires influents.
- Robotique automatisme :
  - Mise en place de boucle de rétro-action sur le moyen robotisé de dépose afin d'améliorer la qualité de la pièce construite
  - Mise en place d'une commande adaptative du moyen robotisé basé sur le modèle procédé de dépose qui sera créer.
- Caractérisation de l'influence des paramètres sur la qualité des pièces

2)Mises en place d'une stratégie de mesures et de capitalisation des données.

- Choix et calibration des instrumentations à mettre en œuvre
  - Intégration des capteurs physiques et virtuels
  - Définition des indicateurs de performance

3)Création d'un modèle expérimental du procédé de dépose par rapport à une base de données.

4)Développement graduel des boucles de contrôles et de rétro-action en lien avec la machine de dépose robotisé et le procédé de fabrication :

- Hors ligne
- En ligne
- En adaptatif
- Elaboration des stratégies de corrections

5) Mise en œuvre des essais et analyses des pièces obtenues

6) Rédaction des articles scientifiques et du manuscrit de thèse

7) Soutenance

Les travaux de thèse se dérouleront au sein de l'Institut des Matériaux Jean Rouxel de Nantes (site Polytech Chantrerie) et au Laboratoire des Sciences du Numériques de Nantes (site de la Fleuriyaie et potentiellement au Manufacturing lab à Saint Aignan de Grandlieu). Des essais pourront également être menées au sein de l'IRT Jules Vernes à Bouguenais.

## Compétences

Savoir Connaissances théoriques	Savoir-faire Compétences méthodologiques & organisationnelles	Savoir-être Compétences relationnelles & comportementales
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaissance approfondies en contrôle commande, en robotique, en mécanique et bonnes bases de métrologie.</li> <li>• Connaissances scientifiques et techniques larges sur les</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rigueur d'analyse,</li> <li>• Capacité de synthèse,</li> <li>• Bonne aptitude à l'écriture scientifique et à la communication avec les différents acteurs de la thèse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La personne recrutée devra être dynamique, curieuse, ouverte, autonome, avec initiative et esprit d'équipe.</li> </ul>



procédés de fabrication. • Anglais : courant		
<b>Profil souhaité</b>	Ingénieur ou titulaire d'un Master 2 en robotique, automatisme et/ou contrôle commande. Des connaissances en métrologie sont un plus et des connaissances en procédé de fabrication additive seraient un atout.	
<b>Contact :</b>	Merci de bien vouloir envoyer un CV détaillé, une lettre de motivation et une lettre de référence à : recrutement @irt-jules-verne.fr, <a href="mailto:pascal.paillard@univ-nantes.fr">pascal.paillard@univ-nantes.fr</a> , <a href="mailto:elodie.paquet@univ-nantes.fr">elodie.paquet@univ-nantes.fr</a> et <a href="mailto:laurent.couturier@univ-nantes.fr">laurent.couturier@univ-nantes.fr</a>	
	<b>Crée par : DRH</b>	<b>Date : juin 2022</b>