

Offre de thèse en génie industriel

Monitoring in-situ des données environnementales des procédés de fabrication additive métallique à dépôt sous énergie concentrée



Dates importantes

- * Envoi des dossiers de candidature : avant le 30 avril 2025
- * Entretiens : mai 2025
- * Démarrage de la thèse (souhaité) : automne 2025

Localisation

Le poste sera localisé à ESTIA-Recherche (Bidart, 64).

Déplacements biannuels d'une quinzaine de jours à prévoir à Rennes.

Mots clés

- * Analyse du cycle de vie
- * Fabrication additive métallique
- * DED-WAAM
- * Fiabilité des données
- * Performance environnementale
- * Instrumentation
- * Monitoring in-situ

Contexte

L'industrie manufacturière représente près de 20% des émissions de gaz à effet de serre (soit 78 Mt CO₂eq). Pour envisager les voies de réduction et accélérer les transitions environnementales de l'industrie, il est nécessaire de quantifier les sources d'impacts au plus proche des procédés de fabrication. Dans ce contexte, le sujet s'intéresse au **monitoring in-situ pour les procédés de fabrication additive métallique**, dans le cadre du projet AMI-CMA : **Procédés du Futur Décarbonés et Durables (PF_DD)**.

Sujet de la thèse

La méthodologie d'**Analyse du Cycle de Vie (ACV)** a été utilisée avec succès pour mesurer l'impact environnemental et définir une stratégie de fabrication optimale de procédé de fabrication variés :

- thermo-stamping of carbon fibre reinforced polyphenylene sulfide (C/PPS) composite parts [1]
- additive manufacturing of short carbon-fiber reinforced polyamide [2]

La Fabrication Additive Métallique (FAM) et en particulier les procédés dit de dépôt sous énergie dirigée (Directed Energy Deposition ou DED) montrent des capacités de conception et de consommation de ressources de plus en plus prometteuses, à mesure que leur maturité croît [3].

Toutefois, **un manque d'informations détaillées sur les performances environnementales** est constaté dans la littérature pour ces procédés [4]. Si l'ACV des produits fabriqués en DED doit considérer l'ensemble de la chaîne de valeur [5], le manque de données sur la phase de fabrication est une partie critique du problème. Pour y remédier, les futurs travaux doivent se concentrer sur l'alimentation des bases de données des ACV et leur utilisation dans des modèles d'optimisation [6,7]. A cette fin, **le monitoring du procédé par une instrumentation in-situ doit être investigué**.

Ces travaux se concentreront donc sur la phase de fabrication du procédé qui a été identifiée dans la littérature comme une des étapes les plus importantes de la chaîne de valeur des pièces fabriquées par des technologies DED [6]. **Le principal procédé qui fera l'objet de ce travail de recherche est le procédé Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)** qui a été sélectionné pour son efficacité énergétique en comparaison aux autres procédés [8].



École doctorale

Le candidat sera inscrit à l'École Doctorale Sciences pour l'Ingénieur de l'ENS Rennes.

Encadrement scientifique

* Directeur de thèse :

Olivier Kerbrat, Professeur des universités, Ecole normale supérieure de Rennes

* Chef de projet PF_DD :

Pierre Michaud, Directeur du département Fabrication Additive, ESTIA

* Co-encadrants :

Laura Laguna Salvado et Laurent Terrenoir, Maîtres de conférences, ESTIA

Contacts

olivier.kerbrat@ens-rennes.fr
l.lagunasalvado@estia.fr
laurent.terrenoir@estia.fr
+33 5 59 43 85 31

Contrat

CDD de 36 mois avec rémunération brute annuelle de 27 740 €.

Ainsi, l'étude dans la littérature des plus récents travaux sur l'impact environnemental du WAAM par l'ACV permettra d'identifier les données manquantes au monitoring des données environnementales dans une cellule de fabrication WAAM. Le développement d'une stratégie de monitoring in-situ de ces impacts via l'utilisation de capteurs permettra de récolter des données permettant de modéliser les inventaires de la cellule WAAM instrumentée en quantifiant les flux du procédé (ressources consommées - énergie consommée, matière première, gaz... - et les émissions produites - matière, fumées de soudage - déchets) [9, 10]. In fine, ces données vont permettre :

- De suivre les impacts du procédé en temps réel.
- De comparer le procédé WAAM à d'autres procédés.
- Définir une stratégie de fabrication adaptée pour une pièce donnée [11,12].

Les objectifs de la thèse sont :

- [O1] Définir les limites du système (décomposer la cellule de fabrication en sous-systèmes pertinents) et identifier les flux à monitorer (données nécessaires pour la réalisation d'une ACV complète et fiable).
- [O2] Identifier les données manquantes pour la réalisation de l'ACV souhaitée et la mesure des impacts environnementaux.
- [O3] Définir et mettre en œuvre les moyens matériels associés pour obtenir les données d'inventaire de manière fiable, notamment en envisageant de monitorer la cellule en conséquence (capteurs).
- [O5] Développer une méthodologie de contrôle et d'analyse des indicateurs environnementaux pour la cellule instrumentée.
- [O6] Valider la méthodologie proposée à partir de la fabrication de plusieurs pièces issues de cas industriels.
- [O6] Etablir l'impact environnemental du procédé selon certaines utilisations définies selon la modélisation ACV.
- [O7] Comparer ces impacts à ceux d'autres procédés (FA et conventionnels).

Perspectives

Les données récoltées via l'instrumentation in-situ, couplées à des données de qualité des pièces fabriquées et des données expertes (issues de l'expérience de l'utilisateur), vont contribuer à développer des outils décisionnels. Ces outils permettront ainsi, pour une cellule de fabrication de référence (c'est-à-dire complètement instrumentée), de guider le choix d'un industriel sur un procédé de FAM et son industrialisation, en ayant une connaissance exhaustive de ses capacités (qualité des pièces produites et impact environnemental).

Candidature

Le dossier de candidature doit comprendre un CV, une lettre de motivation et une lettre de recommandation à envoyer par mail à laurent.terrenoir@estia.fr avant le 30 avril 2025. Les entretiens seront réalisés courant du mois de mai en visio ou en présentiel.



Profil recherché

Formation/Expérience. De formation Bac + 5 (universitaire ou école d'ingénieurs), avec une spécialisation avec une spécialisation en génie industriel, environnement ou mécanique, le candidat devra présenter des connaissances et compétences dans une ou plusieurs des thématiques suivantes : analyse de cycle de vie, fabrication additive métallique, gestion de la production, évaluation des performances, soutenabilité. De précédentes expériences professionnelles (lors de stages par exemple) en laboratoire de recherche ou en entreprise dans ces domaines seront appréciées.

Autres aptitudes. Le candidat devra aussi être curieux, autonome et aimer interagir avec son équipe d'encadrants scientifiques et avec les autres doctorants. Étant amené à être au contact de partenaires académiques ou industriels et des étudiants de l'ESTIA dans le cadre d'activités pédagogiques, le candidat devra aussi faire preuve d'un bon relationnel et d'une capacité à communiquer (en langues française et anglaise) sur son projet mais aussi sur les connaissances acquises lors de son cursus.

Références

- [1] Lacoma, V., Bailleul, J. L., Moisan, S., Vincent, G., Binetruy, C., & Kerbrat, O. (2023). Inventory analysis of the carbon fibres reinforced polyphenylene sulfide thermo-stamping manufacturing process. *Journal of Cleaner Production*, 393, 136337. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136337>
- [2] le Gentil, T., Therriault, D., & Kerbrat, O. (2024). A comprehensive methodology to support decision-making for additive manufacturing of short carbon-fiber reinforced polyamide 12 from energy, cost and mechanical perspectives. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 131(2), 611–622. <https://doi.org/10.1007/S00170-023-11161-2/METRICS>
- [3] Alain Bernard, Jean-Pierre Kruth, Jian Cao, Gisela Lanza, Stefania Bruschi, Marion Merklein, Tom Vaneker, Michael Schmidt, John W. Sutherland, Alkan Donmez, Eraldo J. da Silva (2023), Vision on metal additive manufacturing: Developments, challenges and future trends, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 47, 18-58, doi: 10.1016/j.cirpj.2023.08.005.
- [4] Gouveia JR, Pinto SM, Campos S, Matos JR, Costa C, Dutra TA, Esteves S, Oliveira L. (2022), Life Cycle Assessment of a Circularity Case Study Using Additive Manufacturing, *Sustainability*, 14(15):9557. <https://doi.org/10.3390/su14159557>
- [5] Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
- [6] Ehmsen, S., Klar, M., & Aurich, J. C. (2024). Evaluating the environmental impact of additive manufacturing: A methodology to determine the environmental impact of parts manufactured by high-speed laser directed energy deposition. *Procedia CIRP*, 122, 91–96. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2024.01.013>
- [7] L. Terrenoir, L. Laguna Salvado, J. Lartigau, C. Merlo, A. Arjunan. Directed energy deposition processes, towards sustainable performance? EU4DUAL Annual conference 2025, April 2025, San Sebastian, Spain. [EU4Dual-Annual-Conference2025_ABSTRACT-BOOKLET.pdf](#), pp253-256.
- [8] Balidas, A., Kerbrat, O., & Hascoet, J.-Y. (2024). The potential of additive manufacturing of metal components to reduce environmental impacts. *Journal of Machine Engineering*, 24(2), 94–104. <https://doi.org/10.36897/jme/186988>
- [9] Kokare, S., Oliveira, J. P., Santos, T. G., & Godina, R. (2023). Environmental and economic assessment of a steel wall fabricated by wire-based directed energy deposition. *Additive Manufacturing*, 61, 103316. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103316>
- [10] Santiago-Herrera, M., Igos, E., Alegre, J. M., Martel-Martín, S., & Barros, R. (2024). Ex-ante life cycle assessment of directed energy deposition based additive manufacturing: A comparative gearbox production case study. *Sustainable Materials and Technologies*, 39, e00819. <https://doi.org/10.1016/J.SUSMAT.2023.E00819>
- [11] Terrenoir, L., Laguna Salvado, L., Merlo, C., Lartigau, J. et Arjunan, A. (2023) *Paramètres de fabrication additive métallique arc-fil : vers un modèle d'aide à la décision*. CIGI Qualita MOSIM 2023, Trois-Rivières, Québec, Canada. DOI [10.60662/9HSW-JS95](https://doi.org/10.60662/9HSW-JS95)
- [12] L. Terrenoir. Modèle d'aide à la décision pour le choix des paramètres de fabrication du procédé WAAM : prise en compte des critères de performances mécaniques et industrielles durables. Université de Bordeaux, 2023. Français. [NNT : 2023BORD0370. \(tel-04381993\)](#)