

**Directeurs de thèse :** BALLU Alex – VILLENEUVE François

**Co-encadrants :** LEDOUX Yann – MUSEAU Matthieu

**Contacts :** alex.ballu@u-bordeaux.fr ou yann.ledoux@u-bordeaux.fr

**Laboratoires :** I2M, Institut de Mécanique et d'Ingénierie, Université de Bordeaux – France  
G-SCOP, Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production, Université  
Grenoble Alpes – France

**Title:** Caractérisation et simulation des défauts géométriques des pièces en fabrication additive

**Keywords:** Fabrication additive, Défaut géométrique, Analyse multivariée, Simulation thermomécanique

---

Les nouvelles possibilités techniques offertes par la Fabrication Additive (FA) de matériaux métalliques ouvrent la voie à la conception de pièces aux formes complexes et innovantes mais dont la maîtrise de la qualité en termes de santé matière, d'état de surface et de géométrie de pièces n'est pas assurée. La proposition de thèse porte sur la maîtrise de la géométrie globale de la pièce obtenue par procédés SLM (Selective Laser Melting) et EBM (Electron Beam Melting) et se distingue de la majorité des recherches traitant d'aspects plus micrométriques ou macrométriques. Les distorsions géométriques relevées s'expliquent en partie par le couplage entre les gradients thermiques imposés lors de la fabrication et l'évolution des formes au cours du refroidissement (dépôts de couches successives) engendrant des états de contraintes résiduelles non négligeables. Les caractéristiques des matériaux, la localisation de la pièce par rapport aux parois, les caractéristiques des poudres et les trajectoires de balayage sont autant de paramètres technologiques qui modifient radicalement les phénomènes physiques et thermomécaniques mis en jeu.

Le premier objectif de la thèse est d'identifier les défauts géométriques des pièces fabriquées et leurs variabilités. Des méthodes d'analyse statistique multivariée sur des lots de pièces fabriqués avec des paramètres différents permettront d'établir des relations entre les phénomènes physiques des procédés, les paramètres de réglages et la géométrie obtenue.

Le second objectif est de prédire les déformations des pièces par simulation. L'approche la plus simple repose sur l'intégration de gradients thermiques et de phénomènes de dilatation au sein de la pièce ; de manière plus fine, il faut simuler le dépôt de couches successives avec gradients thermiques. Dans un second temps, une démarche complémentaire de simulations hybrides sera développée afin de réduire drastiquement les temps de calcul avec une approche à base de macro-éléments.

La thèse se déroulera dans le cadre d'un projet sur la maîtrise géométrique des pièces produites par fabrication additive métallique débutant en septembre 2017. Le projet est porté par les laboratoires I2M de l'université de Bordeaux et G-SCOP de l'université Grenoble Alpes et le doctorant sera co-encadré par les deux équipes. Il alternera des périodes de travail sur les deux laboratoires avec une présence plus importante sur Bordeaux. Un post doctorant sera recruté en parallèle afin de conduire la partie expérimentale du projet et de pouvoir fournir des données réelles pour les modèles développés. Le travail de recherche portera donc sur la partie théorique du projet, même si l'étudiant suivra la partie expérimentale et y participera ponctuellement.

Le candidat souhaité devra être sensibilisé aux préoccupations industrielles en fabrication et avoir des connaissances en modélisation des phénomènes mécaniques et si possible thermomécaniques ainsi qu'en simulation par éléments finis. Il devra également avoir une bonne capacité d'adaptation sur des lieux de travail distants.

*Beraud N. Fabrication assistée par ordinateur pour le procédé EBM. , thèse de doctorat de l'Université Grenoble Alpes, 2016.*

*Cheng, B. et Chou, K. Geometric consideration of support structures in part overhang fabrications by electron beam additive manufacturing. Computer-Aided Design, 69:102-111, 2015.*

*Grandjean J., LeGoic G., Favrelière H., Ledoux Y., Samper S., Formosa F., Devun L., Gradel T., "Multi-scalar analysis of hip implant components using the modal decomposition", Journal Measure Science Technology, vol.23,N°12, pp11, 2012.*

*Ledoux Y., Samper S., Favrelière H., Formosa F., Pairel E.; « Optimisation of a stamping process by a design of experiments linked to a modal analysis of geometric defects », Archives of civil and mechanical engineering, 2006, Vol.VI, N°1, ISSN 1644-9665.*

*Shen N, Chou K. Simulations of Thermo-Mechanical Characteristics in Electron Beam Additive Manufacturing, American Society of Mechanical Engineers; 2012, p. 67–74. doi:10.1115/IMECE2012-88476.*

*Van Belle 2013, Analyse, modélisation et simulation de l'apparition de contraintes en fusion laser métallique, Thèse de doctorat, Insa de Lyon, 2013.*