

	Proposition de sujet de thèse Spécialité : Mécanique	Document	Page
		Date Avril 2020	1 / 5 Edition V7

1 INFORMATIONS ADMINISTRATIVES

Département de recherche	Département Conception, Optimisation et Modélisation en Mécanique - COMM
Laboratoire de recherche	Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne – ICB – UMR CNRS 6303
Université	Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
Contacts	Directeur de thèse : Prof. François Peyraut (francois.peyraut@utbm.fr)
	Co-encadrant : Dr. Yicha Zhang
	Co-encadrant : Dr. Nadia Labed

2 SUJET DE RECHERCHE

Titre : Conception pilotée par simulation pour la fabrication additive de composites

Mots clefs : Fabrication additive ; Matériaux composites ; Méthode des Eléments Finis (MEF) ; Optimisation topologique ; Optimisation par métamodèle

La fabrication additive par impression 3D incluant des renforts de fibres de carbone connaît aujourd'hui un essor rapide car ce procédé permet la fabrication personnalisée de composites complexes combinant légèreté et performances élevées (Wang et al., 2017; Compton et al., 2014; Matsuzaki et al., 2016). Mais si de tels dispositifs de fabrication sont d'ores et déjà disponibles sur le marché, avec des variantes des méthodes par dépôt de fil, leurs modalités d'utilisation en termes de processus demeurent encore un domaine d'étude largement ouvert. L'un des principaux obstacles est de pouvoir réaliser l'impression d'un composite qui soit conforme à des spécifications de conception données. Ainsi, il n'existe pas d'outil de prise de décision permettant aux utilisateurs de concevoir des composants de composites adaptés à ce processus de fabrication, même si de nombreuses pratiques existent déjà avec les procédés d'injection traditionnels. Ce sujet de thèse explorera le développement d'une méthode de conception basée sur le calcul pour résoudre ce problème. Le candidat devra mener des recherches interdisciplinaires dans trois domaines différents :

- 1) Elle ou il devra effectuer un benchmarking expérimental sur un processus d'impression de pièces et/ou de structures en composites afin de maîtriser les comportements mécaniques et les contraintes de process (Yang et al., 2017; Melenka et al., 2016).
- 2) Elle ou il devra élaborer des modèles éléments finis pour guider la conception et la fabrication, ainsi que des stratégies de calcul, basées notamment sur les méta-modèles, afin de réduire les coûts de simulation.
- 3) Une méthode de conception générative (Martin et al., 2015; Bader et al., 2016; Tyflopoulos et al., 2018; Lohan et al., 2017) pour la fabrication additive de composites par impression 3D sera développée sur la base des modèles de simulation proposés afin de concevoir des composants sur mesure.

Pour mener à bien ce travail de doctorat, des travaux de recherche de nature à la fois théorique et expérimentale devront être effectués.

 Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne	Proposition de sujet de thèse Spécialité : Mécanique	Document	Page
		Date Avril 2020	2 / 5 Edition V7

3 CONTEXTE DE RECHERCHE

La conception pour la fabrication additive est un domaine encore émergent qui ouvre de nouvelles perspectives là où, traditionnellement, seules les techniques d'optimisation topologique apportaient des solutions de conception en rupture par rapport aux procédés traditionnels de fabrication soustractive. Cependant, comme dans tout domaine émergent, des besoins importants de maîtrise des procédés opératoires se font ressentir afin de s'assurer que le produit final soit bien conforme aux attentes en termes d'usage.

Le sujet de thèse proposé s'inscrit dans ce contexte général de recherche et s'appuiera en particulier sur la dynamique impulsée par le département COMM du Laboratoire ICB autour d'un plateau technique d'impression 3D avec l'acquisition récente d'imprimantes 3D (Technologie FDM) et 4D (Technologies Polyjet, Liquid Deposition Modeling -LDM ou Direct Ink Write - DIW) pour plusieurs types de matériaux : polymères, composites à fibres longues et métal.

Pour aider le (la) doctorant(e) à appréhender les multiples aspects transverses, théorique et expérimental liés au contexte de recherche (conception, modélisation, optimisation, fabrication ...) l'équipe encadrante a été constituée sur une base multidisciplinaire, avec des spécialistes de fabrication additive ainsi que de modélisation par éléments finis.

4 CONTEXTE INDUSTRIEL

Les besoins industriels que nous avons identifiés comme cas d'application possibles des résultats de la thèse concernent des domaines où il faut pouvoir allier à la fois :

- des pièces de grande rigidité,
- des pièces de très faible masse,
- des géométries disposant de bonne précision.

Nous avons, à ce titre, sollicité deux entreprises dans le domaine de la robotique/cobotique (FIRAC-SNEF et MS-INNOV) pour pouvoir développer des effecteurs terminaux (bras, pinces, etc.) de nouvelle génération qui permettent d'augmenter la masse utile manipulée tout en garantissant la précision et la stabilité des géométries engagées.

Nous avons également sollicité une entreprise dans le domaine des drones dédiés aux missions très spéciales telles que le déminage de zones de guerre, nécessitant d'embarquer des charges utiles (appareils de détection) et des torches de fusion des mines détectées (Lam et al., 1997). Les résultats de la thèse appliqués à ces types de drones (disposant déjà de nombreuses pièces en carbone) permettraient d'augmenter les masses des charges utiles et/ou d'augmenter l'autonomie du vol. Il s'agit de l'entreprise MINE KAFON basée à Maastricht aux Pays-Bas.

Un dernier cas d'application concerne la modélisation et le prototypage de pièces mécaniques destinées à la haute horlogerie, pour le compte de la jeune entreprise horlogère innovante Stahl & Revuz actuellement hébergée au sein des locaux du département COMM du Laboratoire ICB.

 Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne	Proposition de sujet de thèse Spécialité : Mécanique	Document	Page
		Date Avril 2020	3 / 5 Edition V7

5 APPROCHE ET OBJECTIFS DE LA THESE

Les objectifs opérationnels de la thèse sont les suivants :

- 1) Réaliser sur le plateau technique d'impression 3D du laboratoire un benchmarking expérimental sur un processus d'impression composite typique.
- 2) Développer des modèles éléments finis et des stratégies de calcul pour réduire les coûts de simulation, en utilisant notamment des métamodèles pour la partie optimisation.
- 3) Mettre au point une méthode de conception générative de composants sur mesure pour la fabrication additive de composite par impression 3D.

6 PROGRAMME DE RECHERCHE

Le programme de recherche s'adosse aux objectifs opérationnels de la thèse :

1) Année 1 :

- Benchmarking expérimental en appliquant un processus d'impression FDM de matériaux composites à fibres longues (verre, carbone et kevlar) en jouant sur plusieurs paramètres (nombre de couches dotées de fibres, densité/nombre de fibres par couche, angles d'orientation des fibres, etc.) en utilisant le plateau technique d'impression 3D du laboratoire ICB/COMM. Il s'agit, en particulier, de la nouvelle machine MARKFORGED X7 acquise en décembre 2019 et permettant l'impression 3D de pièces composites à fibres longues et à matrices polymères thermoplastiques (par exemple : polymère nylon chargés de nanotubes de carbone).
- Elaboration de modèles éléments finis permettant de simuler le comportement de matériaux composites multicouches fibreux. Compte tenu de l'organisation géométrique a priori répétitive des fibres, une stratégie de calcul basée sur l'homogénéisation périodique pourra être envisagée avec des calculs réalisés à l'échelle microscopique sur une cellule de base (Laped et Turbé, 1998).
- Rédaction d'articles scientifiques pour une ou deux conférences nationales et internationales pour confronter les orientations scientifiques retenues à l'avis des pairs.

 Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne	Proposition de sujet de thèse Spécialité : Mécanique	Document	Page
		Date Avril 2020	4 / 5 Edition V7

2) Année 2 :

- Optimisation de l'architecture des composites en utilisant des métamodèles (Lebaal et al., 2019; Gu et al., 2012; Nikkhoo et al., 2013; Pichler et al., 2011). Les métaheuristiques tels que les algorithmes génétiques ont notamment fait leurs preuves dans des domaines très diversifiés allant de la mécanique des structures à la biomécanique (Sid et al., 2007, Harb et al., 2011). Ils pourraient donc être utilisés pour rechercher une architecture optimale. Afin d'éviter l'évaluation par éléments finis de chacun des individus de la population, et économiser ainsi notablement du temps de calcul, l'utilisation de surface de réponse sera étudiée.
- Rédaction d'articles pour des revues scientifiques référencées.

3) Année 3 :

- Mise au point d'une méthode de conception générative de composants sur mesure pour la fabrication additive de composite par impression. Une voie à investiguer serait d'utiliser une stratégie d'optimisation topologique de type lego, par ajout de briques élémentaires, afin de constituer un squelette (Sid et al., 2007).
- Rédaction du mémoire final de thèse et préparation de la soutenance.

7 BIBLIOGRAPHIE

- LAM, K. Y., PENG, X. Q., LIU, G. R., et al. A finite-element model for piezoelectric composite laminates. *Smart Materials and Structures*, 1997, vol. 6, no 5, p. 583.
- LABED, Nadia, TURBE, Nicole Computation of homogenized coefficients for a viscoelastic composite reinforced with spherical inclusions. *Journal of Composite Materials*, 1998, Vol. 32, Issue: 14, p. 1297-1310.
- SID, Belkacem, DOMASZEWSKI, Matthieu, PEYRAUT, François An adjacency representation for structural topology optimization using genetic algorithm. *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 2007, Vol. 1, No. 1, p. 49-54.
- HARB Nizar, LABED, Nadia, DOMASZEWSKI, Matthieu, PEYRAUT, François A New Parameter Identification Method of Soft Biological Tissue Combining Genetic Algorithm with Analytical Optimization. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2011, Vol. 200, Issues 1-4, p. 208-215.
- WANG, Xin, JIANG, Man, ZHOU, Zuowan, et al. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, 2017, vol. 110, p. 442-458.
- COMPTON, Brett G. et LEWIS, Jennifer A. 3D - printing of lightweight cellular composites. *Advanced materials*, 2014, vol. 26, no 34, p. 5930-5935.
- MATSUZAKI, Ryosuke, UEDA, Masahito, NAMIKI, Masaki, et al. Three-dimensional printing of continuous-fiber composites by in-nozzle impregnation. *Scientific reports*, 2016, vol. 6, p. 23058.
- YANG, Chungheng, TIAN, Xiaoyong, LIU, Tengfei, et al. 3D printing for continuous fiber reinforced thermoplastic composites: mechanism and performance. *Rapid Prototyping Journal*, 2017.

	Proposition de sujet de thèse Spécialité : Mécanique	Document	Page
		Date Avril 2020	5 / 5 Edition V7

- MELENKA, Garrett W., CHEUNG, Benjamin KO, SCHOFIELD, Jonathon S., et al. Evaluation and prediction of the tensile properties of continuous fiber-reinforced 3D printed structures. *Composite Structures*, 2016, vol. 153, p. 866-875.
- MARTIN, Joshua J., FIORE, Brad E., et ERB, Randall M. Designing bioinspired composite reinforcement architectures via 3D magnetic printing. *Nature communications*, 2015, vol. 6, no 1, p. 1-7.
- BADER, Christoph et OXMAN, Neri. Recursive symmetries for geometrically complex and materially heterogeneous additive manufacturing. *Computer-Aided Design*, 2016, vol. 81, p. 39-47.
- TYFLOPOULOS, Evangelos, TOLLNES, Flem David, STEINERT, Martin, et al. State of the art of generative design and topology optimization and potential research needs. *DS 91: Proceedings of NordDesign 2018, Linköping, Sweden, 14th-17th August 2018*, 2018.
- LOHAN, Danny J., DEDE, Ercan M., et ALLISON, James T. Topology optimization for heat conduction using generative design algorithms. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2017, vol. 55, no 3, p. 1063-1077.
- LEBEAL, Nadhir, ZHANG, Yicha, DEMOLY, Frédéric, et al. Optimised lattice structure configuration for additive manufacturing. *CIRP Annals*, 2019, vol. 68, no 1, p. 117-120.
- GU, Jichao, LI, G. Y., et DONG, Zuomin. Hybrid and adaptive meta-model-based global optimization. *Engineering Optimization*, 2012, vol. 44, no 1, p. 87-104.
- NIKKHOO, Mohammad, HSU, Yu-Chun, HAGHPANAHI, Mohammad, et al. A meta-model analysis of a finite element simulation for defining poroelastic properties of intervertebral discs. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 2013, vol. 227, no 6, p. 672-682.
- PICHLER, L. et SCHUËLLER, G. I. On the treatment of finite element structures in stochastic linear dynamics using a mode-based meta-model. *Engineering structures*, 2011, vol. 33, no 2, p. 391-400.

8 DIRECTION DES TRAVAUX / CO-ENCADREMENTS

	Directeur de thèse	Co-encadrant	Co-encadrant
NOM Prénom	François PEYRAUT	Yicha ZHANG	Nadia LABED
Courriel	<i>francois.peyraud@utbm.fr</i>	<i>yicha.zhang@utbm.fr</i>	<i>nadia.labed@utbm.fr</i>
Téléphone	03 84 58 31 91	03 84 58 37 12	03 84 58 31 56
Grade (PR, MCF-HDR, MCF)	PR	MCF	MCF
Quotité de l'encadrement (%)	30%	40%	30%