

Title of the thesis: Modeling and characterization of the damping properties of composite structures obtained by additive manufacturing based on waste materials.

A few years ago, the ERPI set up a platform dedicated to accelerating innovation processes, the LorraineFabLivingLab. This combines a "Living lab", or use laboratory with a user-centred research approach, with a Fablab that allows the rapid materialization of objects and solutions in 3 dimensions. As part of a societal issue that is sustainable development, the Fablab is now evolving towards the notion of "GreenFabLab", i.e. a pilot Fablab allowing a better use of resources at the local level. From a scientific and technical point of view, the ERPI, in collaboration with the LRGP, has implemented and proposed a methodology and a process for recycling thermoplastic polymers so that they become a raw material for 3D printing machines located in the Fablabs [1]. The possibility of using recycled PLA for 3D printing has been proven in the work of Fabio Cruz [1]. Subsequently, in collaboration with Broplast, a plastic recycling and recovery company, the operating conditions for recycling thermoplastics available in large quantities around the Fablabs, namely: PS, PP, and ABS have been developed. However, it appears that the use of recycled thermoplastics other than PLA poses many technical problems during printing (heterogeneous colouring, significant shrinkage, surface quality, viscosity of the polymer poorly controlled...). Therefore, in order to be able to propose viable solutions for reuse on a short circuit, we need to think at different levels about improving the properties of printed structures. This thesis would aim to remove a technical and scientific barrier by allowing the design of ad-hoc structures made from locally recycled materials. To do this, it is necessary to go beyond the production of the part, i.e. to qualify the static and dynamic behaviour of its structures in order to know their potential for reuse. For several years now, LEM3 has been developing numerical models [3] and experimental approaches [4] for the qualification of composite structures generally obtained by conventional methods of assembling multilayer structures. This thesis will extend the modelling work carried out at LEM3 by developing models for structures obtained this time by 3D printing. Indeed, we propose here to answer the problem mentioned above by working on the different elements of the chain value. The thesis project includes in particular the following steps:

1. Elaboration of filaments from recycled material PS, PP, ABS and TPU.
2. Design of composite structures from recycled materials.
3. Characterization of static and vibratory mechanical properties after 3D printing.
4. Proposal of new models for printed composite structures.

At the end of this thesis we wish from a point of view:

- Operational: Evaluate 3D printing conditions and determine the best combinations of parameters [5] to obtain quality composite structures.
- Experimental: Determine the static and vibratory behaviour of structures obtained by 3D printing of the FFF type.
- Modeling: to have models to simulate the vibratory behaviour of printed composite structures.
- Research value: to offer several publications in international journals as well as wider public distribution for the printing of composite structures made of recycled material.

Contact : Hakim Boudaoud (hakim.boudaoud@univ-lorraine.fr); Guillaume Robin (guillaume.robin@univ-lorraine.fr); El Mostafa Daya (el-mostafa.day@univ-lorraine.fr);

References :

- [1] F. Cruz Sanchez, H. Boudaoud, S. Hoppe, M. Camargo “[Polymer recycling in an open-source additive manufacturing context: Mechanical issues.](#)” *Additive Manufacturing. Volume 17*, October 2017, Pages 87-105.
- [2] David Stoof, Kim Pickering “[Sustainable composite fused deposition modelling filament using recycled pre-consumer polypropylene.](#)” *Composites Part B: Engineering*, 135, February 2018, p110-118.
- [3] K Akoussan, H Boudaoud, EM Daya, E Carrera “[Vibration modeling of multilayer composite structures with viscoelastic layers](#)”. *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 22 (1-2), p136-149.
- [4] S Mahmoudi, A Kervoelen, G Robin, L Duigou, EM Daya, JM Cadou “[Experimental and numerical investigation of the damping of flax-epoxy composite plates](#)”. *Composite Structures Volume 208*, 15 January 2019, p426-433.
- [5] F. Cruz Sanchez, H. Boudaoud, L. Muller, M. Camargo. “Towards a standard experimental protocol for open source additive manufacturing “. *Virtual and Physical Prototyping* 9 (3), 2014, p 151-167.

Titre de la thèse : Modélisation et caractérisation des propriétés d'amortissement des structures composites obtenues par fabrication additive à base de déchets.

Depuis quelques années, l'ERPI a mis en place une plateforme dédiée à l'accélération des processus d'innovation, le LorraineFabLivingLab. Il combine un "living lab", ou laboratoire des usages ayant une approche de recherche centrée sur l'utilisateur, avec un Fablab qui permet la matérialisation rapide d'objets et de solutions en 3 dimensions. Dans le cadre d'un enjeu sociétal de développement durable, le Fablab évolue aujourd'hui vers la notion de "GreenFabLab", c'est-à-dire un Fablab pilote permettant une meilleure utilisation des ressources au niveau local. D'un point de vue scientifique et technique, l'ERPI, en collaboration avec le LRGP, a mis en place et proposé une méthodologie et un procédé de recyclage des polymères thermoplastiques afin qu'ils deviennent une matière première pour les machines d'impression 3D situées dans les Fablabs[1]. La possibilité d'utiliser du PLA recyclé pour l'impression 3D a été prouvée dans les travaux de Fabio Cruz[1]. Par la suite, en collaboration avec Broplast, une entreprise de recyclage et de récupération de plastique, les conditions d'exploitation pour le recyclage des thermoplastiques disponibles en grandes quantités autour des Fablabs, à savoir : PS, PP et ABS ont été développés. Cependant, il apparaît que l'utilisation de thermoplastiques recyclés autres que le PLA pose de nombreux problèmes techniques lors de l'impression (coloration hétérogène, retrait important, qualité de surface, viscosité du polymère mal contrôlée...). Par conséquent, afin de pouvoir proposer des solutions viables de réutilisation en circuit-court, nous devons réfléchir à différents niveaux à l'amélioration des propriétés des structures imprimées. Cette thèse viserait à supprimer une barrière technique et scientifique en permettant la conception de structures ad-hoc réalisées à partir de matériaux recyclés localement. Pour ce faire, il faut aller au-delà de la production de la pièce, c'est-à-dire qualifier le comportement statique et dynamique de ces structures afin de connaître leur potentiel de réutilisation. Depuis plusieurs années, le LEM3 développe des modèles numériques [3] et des approches expérimentales [4] pour la qualification de structures composites généralement obtenues par les méthodes classiques d'assemblage de structures multicouches. Cette thèse prolongera le travail de modélisation réalisé à LEM3 en développant des modèles de structures obtenues cette fois-ci par impression 3D. En effet, nous proposons ici de répondre au problème mentionné ci-dessus en travaillant sur les différents éléments de la chaîne de valeur. Le projet de thèse comprend notamment les étapes suivantes :

1. Elaboration de filaments à partir de matériaux recyclés PS, PP, ABS et TPU.
2. Conception de structures composites à partir de matériaux recyclés.
3. Caractérisation des propriétés mécaniques statiques et vibratoires après impression 3D.
4. Proposition de nouveaux modèles de structures composites imprimées.

A la fin de cette thèse, nous souhaitons d'un point de vue :

- Opérationnel : Évaluer les conditions d'impression 3D et déterminer les meilleures combinaisons de paramètres [5] pour obtenir des structures composites de qualité.
- Expérimental : Déterminer le comportement statique et vibratoire des structures obtenues par impression 3D de type FFF.
- Modélisation : disposer de modèles pour simuler le comportement vibratoire des structures composites imprimées.
- Valeur de la recherche : offrir plusieurs publications dans des revues internationales ainsi qu'une distribution publique plus large pour l'impression de structures composites à base de matériaux recyclés.

Contact : Hakim Boudaoud (hakim.boudaoud@univ-lorraine.fr); Guillaume Robin (guillaume.robin@univ-lorraine.fr); El Mostafa Daya (el-mostafa.day@univ-lorraine.fr);

References :

- [1] F. Cruz Sanchez, H. Boudaoud, S. Hoppe, M. Camargo "Polymer recycling in an open-source additive manufacturing context: Mechanical issues." *Additive Manufacturing, Volume 17*, October 2017, Pages 87-105.
- [2] David Stoof, Kim Pickering "Sustainable composite fused deposition modelling filament using recycled pre-consumer polypropylene." *Composites Part B: Engineering*, 135, February 2018, p110-118.
- [3] K. Akoussan, H. Boudaoud, EM Daya, E. Carrera "Vibration modeling of multilayer composite structures with viscoelastic layers". *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 22 (1-2), p136-149.
- [4] S. Mahmoudi, A. Kervolen, G. Robin, L. Duigou, EM Daya, JM Cadou "Experimental and numerical investigation of the damping of flax-epoxy composite plates". *Composite Structures Volume 208*, 15 January 2019, p426-433.
- [5] F. Cruz Sanchez, H. Boudaoud, L. Muller, M. Camargo. "Towards a standard experimental protocol for open source additive manufacturing". *Virtual and Physical Prototyping* 9 (3), 2014, p 151-167.