

Matériau structuré avancé par impression 3D

Par :

Marouene Zouaoui, Université de Technologie de Troyes

Directeur de thèse :

Pascal Lafon, Professeur des Universités à l'Université de Technologie de Troyes

Co-directeur :

Julien Gardan, Enseignant Chercheur à l'Ecole d'ingénieur-e-s EPF

Les exigences du milieu industriel sont de plus en plus complexes. Des applications avancées, telles que l'aéronautique et l'automobile, qui nécessitaient la mise en place des assemblages complexes de plusieurs composants présentent un challenge majeur pour les industriels. L'intégration des matériaux fonctionnels ou "intelligents" est considérée à ce niveau comme une solution optimale pour répondre à ces besoins. Un matériau intelligent est basé sur la définition des formes structurales complexes ou de la combinaison des matériaux pour obtenir une ou plusieurs propriétés répondant à une fonctionnalité prédéfinie [1]. Une modification majeure de la conception du produit et du processus de fabrication grâce à des matériaux structurés avancés ou réactifs dotés de fonctionnalités intégrées est ensuite introduite.

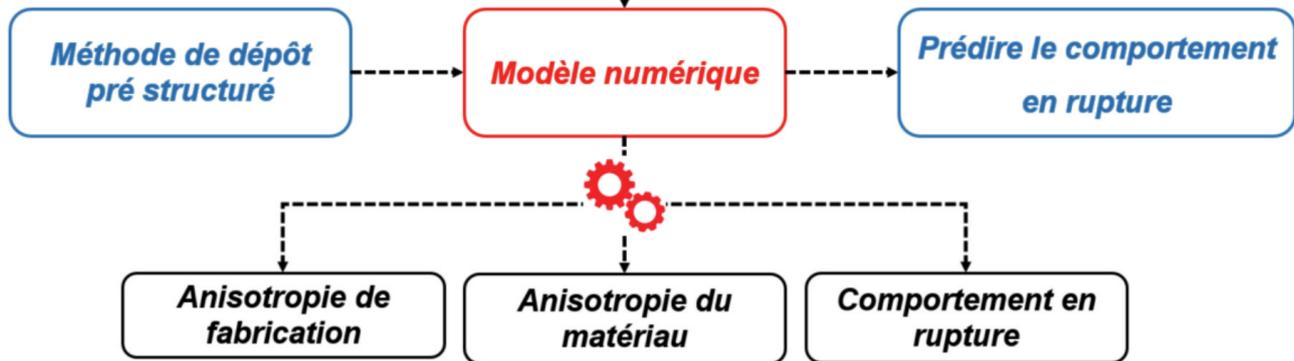
La fabrication additive permet de réaliser des formes topologiquement plus optimisées et plus complexes qu'avec des procédés de mise en forme conventionnels. Ce procédé offre l'opportunité de concevoir et fabriquer des matériaux fonctionnels et des matériaux structurés avancés qui peuvent être utilisés dans des produits multifonctionnels qui nécessitent une haute performance mécanique. En effet, en maîtrisant les paramètres de certaines

technologies de fabrication additive nous pouvons parvenir à maîtriser les caractéristiques du matériau fabriqué. Cela ouvre la possibilité de fabriquer une pièce par impression 3D avec un matériau préstructuré ou "intelligent" dont les propriétés sont adaptées strictement aux conditions d'usage dans les applications industrielles à hautes exigences de service.

Ces travaux de thèse en cours s'intègrent dans le cadre du projet de recherche "Smart Materials in Additive Manufacturing **SMAM**" piloté par l'**EPF de Troyes** et l'**UTT**. Ce projet s'intéresse au développement de modèles numériques et d'essais expérimentaux dont l'objectif est d'optimiser au mieux des stratégies d'impression 3D et d'améliorer les propriétés mécaniques et physiques des pièces imprimées.

Des travaux précédents dans ce cadre ont montré expérimentalement qu'en adaptant les stratégies de dépôts de fils polymères fondus en impression 3D, nous pouvons augmenter la résistance à la rupture de plus de 20% par rapport à un dépôt classique [2] - [4]. Ce dépôt préstructuré proposé par Gardan et al [2] consiste en un dépôt qui suit les directions principales de contraintes issues d'un calcul préliminaire par éléments finis. Autrement dit, il s'agit d'un matériau à la carte qui dispose d'une réponse prédéfinie et appropriée aux conditions d'usage.

Mise en oeuvre des nouveaux protocoles d'identification des paramètres



Organigramme du projet de la thèse



L'objectif de la thèse est de comprendre les origines physiques derrière cette amélioration et d'être capable d'évaluer l'efficacité de cette méthode voire proposer une autre méthode de dépôt plus pertinente. Pour ce faire, il est nécessaire de développer un modèle numérique [5] qui permet de prévoir le comportement de ce matériau préstructuré qui va jusqu'à la rupture à travers un modèle élastoplastique. Couplé avec différents essais de caractérisation [6] - [7] qui explorent le comportement local de ce "composite", comme le rôle de l'interface entre les couches et les filaments, ce modèle comportemental enrichi reproduit par exemple l'amorçage et la propagation de fissures.

Ce modèle pourra être par la suite utilisé pour investiguer les performances du dépôt pré structuré sur des géométries exploratoires et tester d'autres stratégies de dépôts.

Les verrous technologiques concernent la maîtrise d'une méthode de fabrication d'un matériau préstructuré incluant une étape d'analyse et de génération du dépôt de matière avant de passer à l'impression 3D. Les verrous scientifiques reposent sur la capacité à proposer un modèle numérique qui caractérise son comportement mécanique dans le domaine non-linéaire en élastoplasticité et permet de reproduire avec fiabilité sa réponse à un chargement donné.

M. Z.

Références

- [1] J. Gardan, 'Smart materials in additive manufacturing: state of the art and trends', *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 14, no. 1, pp. 1–18, Jan. 2019, doi: 10.1080/17452759.2018.1518016.
- [2] J. Gardan, A. Makke, and N. Recho, 'A Method to Improve the Fracture Toughness Using 3D Printing by Extrusion Deposition', *Procedia Structural Integrity*, vol. 2, pp. 144–151, 2016, doi: 10.1016/j.prostr.2016.06.019.
- [3] J. Gardan, A. Makke, and N. Recho, 'Improving the fracture toughness of 3D printed thermoplastic polymers by fused deposition modeling', *International Journal of Fracture*, vol. 210, no. 1–2, pp. 1–15, Mar. 2018, doi: 10.1007/s10704-017-0257-4.
- [4] P. Lanzillotti, J. Gardan, A. Makke, and N. Recho, 'Enhancement of fracture toughness under mixed mode loading of ABS specimens produced by 3D printing', *RPJ*, vol. 25, no. 4, pp. 679–689, May 2019, doi: 10.1108/RPJ-09-2018-0247.
- [5] M. Zouaoui et al., 'Numerical Prediction of 3D Printed Specimens Based on a Strengthening Method of Fracture Toughness', *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 40–44, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.03.008.
- [6] J. Maraé Djouda et al., 'Local scale fracture characterization of an advanced structured material manufactured by fused deposition modeling in 3D printing.', *Frattura ed Integrità Strutturale*, vol. 14, no. 51, pp. 534–540, Dec. 2019, doi: 10.3221/IGF-ESIS.51.40.
- [7] J. M. Djouda et al., 'Experimental approach for microscale mechanical characterization of polymeric structured materials obtained by additive manufacturing', *Polymer Testing*, p. 106634, May 2020, doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106634.