

## **IMPRIMABILITE DES MATERIAUX BIOSOURCES : IMPACT DE LA TEMPERATURE D'EXTRUSION SUR LEURS PERFORMANCE MECANIQUE**

Khaoula ABOUZAIID<sup>1</sup>,

Abdelkrim CHOUAF<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Laboratoire Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des Structures (LCCMMS), Université Hassan II Casablanca, ENSEM*

### **Résumé :**

Selon la norme ISO 14050, l'objectif de l'éco conception est de diminuer, sur l'ensemble du cycle de vie du produit, l'impact énergétique et environnemental global de ce produit. L'ensemble de cycle de vie repose sur quatre étapes : extraction de matière première, fabrication, usage et puis la fin de durée de vie.

En fabrication additive, les pièces sont obtenues par ajout successif de matière. Cette technologie est considérée comme étant le procédé de fabrication le plus économique.

Plusieurs matériaux ont été utilisés par ce procédé de fabrication. Il devient alors intéressant d'étudier l'imprimabilité de nouveaux matériaux biosourcés dans le but d'aboutir à un produit de haute qualité. Et ceci sera réalisé par l'amélioration des propriétés mécaniques du produit en trouvant les valeurs optimales des paramètres de fabrication additive.

## 1. Introduction

La fabrication additive réfère les technologies permettant de construire des pièces fonctionnelles, à partir d'un modèle CAO, par l'ajout d'une couche au-dessus d'une couche. Elle a été développée rapidement ces dernières années par son utilisation dans divers secteurs tels que l'aéronautique, l'automobile et le secteur médical (figure 1). Cette croissance remarquée récemment est due aux différents avantages que ce procédé présente comparant aux procédés de fabrication classiques.

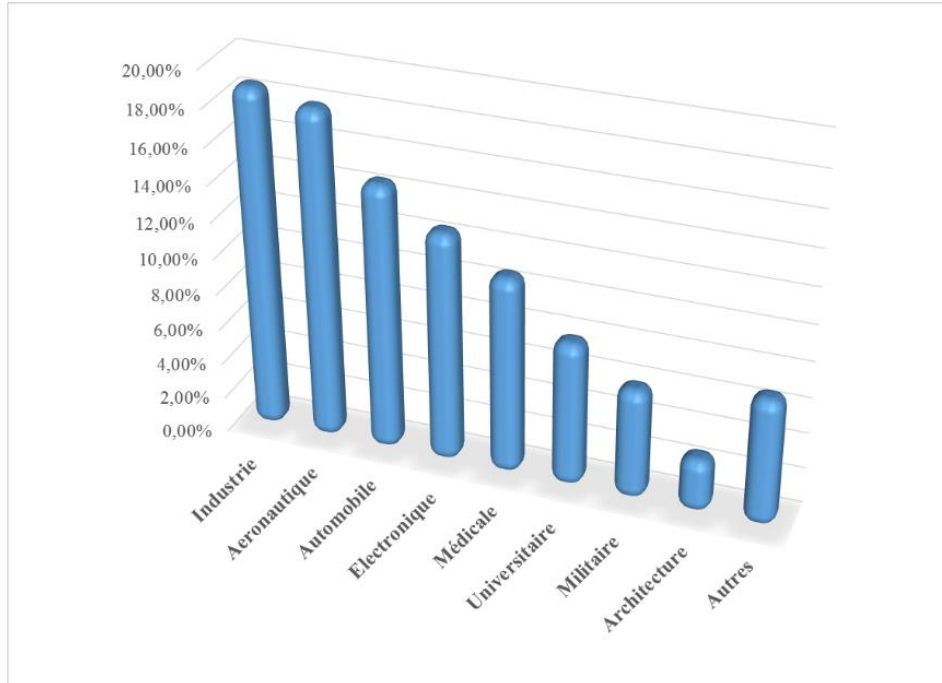


Figure. 1. Domaines d'utilisation de la fabrication additive

Le terme « fabrication additive » englobe plusieurs procédés d'impression tridimensionnelle qui se diffèrent en méthode de dépôt de couches, leurs principes de solidification et l'état de la matière première. Une partie de ces procédés est basée sur le laser pour durcir de la matière première qui se trouve sous forme de poudre ou liquide. Tandis que d'autres fondent le matériau afin de fabriquer directement la pièce. Les catégories des procédés de fabrication additive sont résumées sur la figure 2.

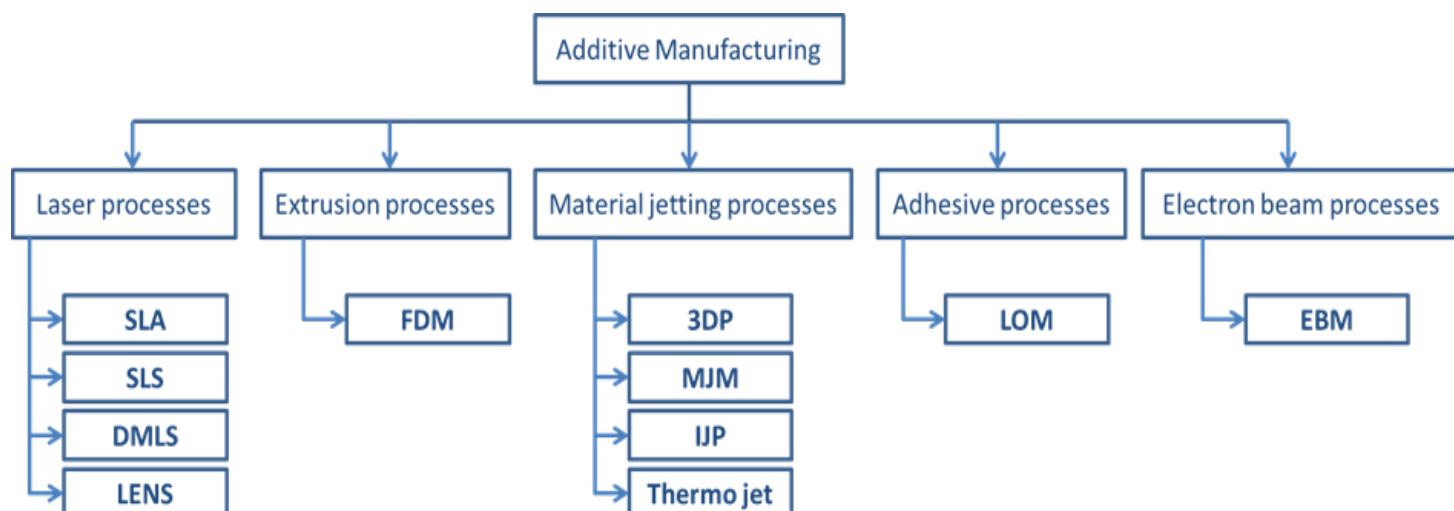


Figure. 2. Types de procédés de la fabrication additive

Parmi les procédés présentés sur la figure 2, les procédés d'extrusion de matière sont considérés comme étant les plus économiques, plus précisément, le procédé de dépôt de matière fondue appelé en anglais « Fused Deposition Modeling (FDM) »

## 2. Imprimabilité des polymères par la technique de dépôt de matière fondue (FDM)

La technique de dépôt de matière est un procédé thermique qui utilise un système chauffant pour convertir l'état de matière première d'un état solide, sous forme de fil, à un état fluide (quasi-liquide) en formant des filaments.

L'opération de fabrication additive est basée sur trois principales étapes : la création du modèle virtuel, la conversion de ce dernier en instruction de machine et finalement l'étape d'impression.

Premièrement, la création du modèle virtuel se fait en deux parties : la conception du modèle CAO et sa conversion en format STL (Standard Tessellation Language). La seconde étape correspond au traitement du fichier STL par le logiciel intégré au matériel d'impression dans le but de fixer les paramètres d'impression.

Finalement, après avoir choisi et introduit les paramètres d'impression, dans la dernière étape le dépôt est lancé couche par couche de matériau jusqu'à l'obtention de la pièce finale. Chaque couche est fabriquée par le dépôt du matériau fondu par l'extrudeuse sur une table mobile (Figure 3). Et comme l'état du matériau extrudé est fluide, son collage au-dessus de la couche qui précède devient facile ce qui permet d'aboutir à une pièce finale solide après refroidissement.

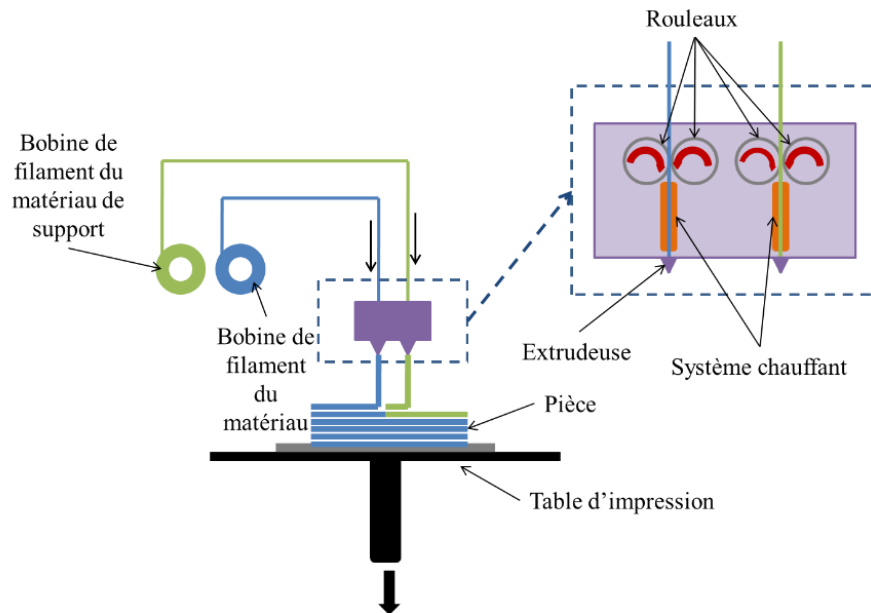


Figure. 3. Principe de la Technique de dépôt de matière fondue

Ce procédé permet à partir d'un faible coût et durant un temps réduit, de produire des pièces avec des géométries complexes, ce qui le classe comme étant le procédé le plus économique. En outre, cette technique est largement utilisée grâce à sa conformité aux normes écologiques et environnementales. Toutefois, l'utilisation de cette technique est encore entravée par des qualités d'aspect ou de comportement très limitées des pièces obtenues. Pour cette raison, depuis l'apparition de cette technique fort intéressante, les chercheurs se sont focalisés sur l'amélioration des produits fabriqués par la fabrication additive dans le but de s'approcher de la qualité que nous pouvons obtenir par les procédés classiques, tel que l'usinage et le thermoformage. Cette amélioration vise différents aspects tels que l'aspect esthétique et mécanique. Concernant l'aspect esthétique, la plupart des études ont été réalisées en vue d'améliorer l'état de surface des pièces élaborées par cette technique [1,2], de préciser les dimensions [3,4] et de maîtriser le pourcentage de porosité [5]. Par ailleurs, ces études n'étaient pas limitées au côté esthétique, l'amélioration des propriétés mécaniques a pris aussi une grande importance [6-8]. Parmi les caractéristiques mécaniques qui ont été traitées, on trouve le module d'Young et la résistance en traction. Le choix de ces propriétés peut être dû au coût et à la simplicité de réalisation qui sont des points de vue technique accessibles.

Afin de résoudre en partie les enjeux environnementaux et l'insuffisance des ressources fossiles du monde actuel, la recherche scientifique dans le domaine de l'impression 3D a été orientée vers l'utilisation des matériaux biosourcés.

C'est dans ce cadre qu'une étude de l'imprimabilité par la technique de fabrication additive des différents matériaux biosourcés est indispensable. Par la suite, la caractérisation des performances mécaniques de ces matériaux obtenus par FDM est très souhaitée en vue de leur bonne utilisation dans divers secteurs industriels. Le présent papier présente une synthèse sur différents travaux réalisés dans ce sens qui ont comme objectif, l'étude mécanique des matériaux biosourcés dans le cas de la technique de dépôt de matière fondue.

### 3. Caractérisation mécanique des matériaux biosourcés obtenus par FDM

L'objectif de la plupart des études réalisées sur la technique de fabrication additive est l'optimisation des paramètres d'impression afin d'aboutir à un produit caractérisé par de bonnes propriétés mécaniques. Parmi les matériaux largement utilisés par la technique de dépôt de matière fondue, on trouve l'ABS et le PLA. Ces deux matériaux ont eu suffisamment d'intérêt par les chercheurs grâce à leurs simplicités d'impression.

Dans le but d'élargir la marge de matière première de cette technique d'impression tridimensionnelle et aussi de respecter les normes environnementales, la déviation vers les matériaux biosourcés était indispensable. Malgré les importantes caractéristiques mécaniques que présente l'ABS, malheureusement, ce matériau ne respecte pas les critères de matériaux biosourcés. Chose qui pousse plus les chercheurs à le remplacer par des autres matériaux biosourcés ayant le même niveau d'importance.

Il existe plusieurs matériaux présentant des bonnes propriétés mécaniques et respectant aussi l'environnement tels que le polypropylène (PP), le polycarbonate (PC) et le nylon. Le seul critère qui reste pour entamer l'étude de l'impact de la technique de FDM sur ces matériaux est la simplicité d'impression, autrement dit, l'imprimabilité de ces matériaux.

La figure 4 présente la comparaison des modules d'Young des différents matériaux en fonction de la température d'extrusion [9-12].

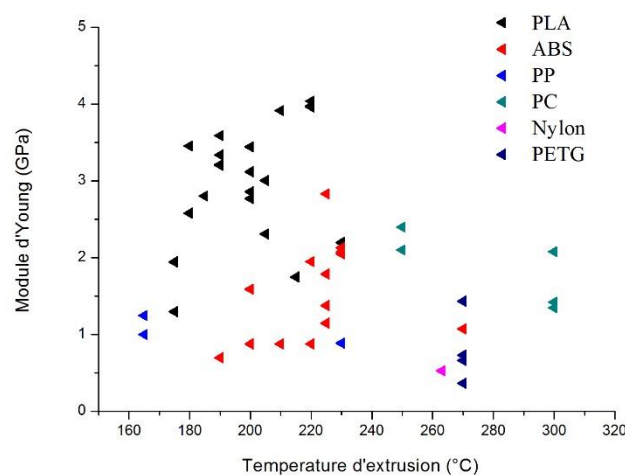


Figure. 4. Comparaison de module d'Young des matériaux imprimé par la technique de FDM.

Comme il est présenté sur le graphe, le PLA présente le plus important module d'Young comparant autres matériaux suivi par le polycarbonate (PC) et l'ABS. En troisième lieu vient le polypropylène (PP) et le nylon en dernier lieu.

La résistance à la traction présente aussi une importante propriété mécanique qui était l'objectif de plusieurs études résumées sur le graphe de la figure 5 [13-17].

De plus de la différence de l'ordre de rigidité et de résistance que présentent ces matériaux, on remarque une dispersion des résultats de la résistance à la traction.

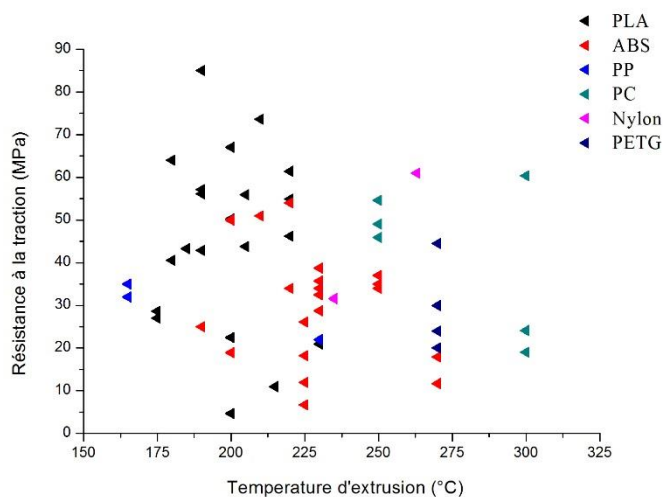


Figure. 5. Comparaison de module de la résistance à la traction des matériaux imprimé par la technique de FDM.

Les résultats présentés sur les figure 4 et 5 regroupe deux types d'études ; des études qui ont traité l'influence de la température d'extrusion sur le module d'Young et la résistance à la traction et des études qui ont un autre objectif qui nécessite la caractérisation de ces matériaux.

Les recherches effectuées sur l'impression des matériaux biosourcés montrent que l'intervalle de température d'extrusion de ces matériaux est large ce qui présente un avantage traduit par la simplicité de leurs utilisations.

On constate aussi d'après ces deux graphes que les caractéristiques mécaniques du PLA sont les plus importantes, à savoir, le module d'Young et la résistance à la traction qui peuvent atteindre 4 GPa et 85 MPa, respectivement, malgré l'effet de la technique de FDM qui fait diminuer les valeurs de module d'Young et de résistance à la traction à cause du taux de porosité qui en découle.

Quant au polypropylène et le polycarbonate, ils sont les meilleurs remplaçants de l'ABS grâce aux intéressantes caractéristiques mécaniques qu'ils présentent comparant à celles de ce dernier qui peuvent arriver à 2.5 GPa et 55 MPa pour le module d'Young et la résistance à la traction.

Pour le nylon, son comportement est un peu spécial comparant aux autres polymères dus au degré important de plasticité qui présente. Son module d'Young est le peu faible qui est moins de 1GPa tandis que sa résistance à la traction est de l'ordre de 60 MPa.

La différence de valeurs des précédentes propriétés mécaniques pour la même température d'impression est expliquée par l'impact des autres paramètres d'impression (épaisseur de coucher et orientation des filaments) et aussi du type d'imprimante qui a un effet remarquable sur le produit final.

## 4. Conclusion

L'impression 3D est une technologie surprenante, susceptible, selon certaines études, d'entraîner une troisième révolution industrielle. C'est la raison pour laquelle, ces technologies ne cessent de s'améliorer, façonnant et repoussant chaque jour leurs limites.

Une étude des propriétés mécaniques des matériaux biosourcés a été présentée dans le présent papier afin de mettre en valeur ce type de matériaux innovants. L'influence de la température d'extrusion est clairement apparue au niveau d'une large marge pour les différents matériaux. L'amélioration des propriétés mécanique est distinguée en augmentant la température d'impression. On peut conclure, aussi, que ces matériaux présentent d'importantes caractéristiques mécaniques malgré l'impact de la technique de fabrication additive qui les fait diminuer pour d'autres matériaux.

## 5. Bibliographie

- [1] Anitha, R., S. Arunachalam, and P. Radhakrishnan, Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling. *Journal of Materials Processing Technology*, 2001. 118(1): p. 385-388.
- [2] Nancharaiah, T., Optimization of process parameters in FDM process using design of experiments. *Int J Emerg Technol*, 2011. 2(1): p. 100-102.

- [3] Sood, A.K., R. Ohdar, and S.S. Mahapatra, Improving dimensional accuracy of fused deposition modelling processed part using grey Taguchi method. *Materials & Design*, 2009. 30(10): p. 4243-4252.
- [4] Kumar, G.P. and S.P. Regalla. Optimization of support material and build time in fused deposition modeling (FDM). in *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Trans Tech Publ.
- [5] Asadi-Eydivand, M., et al., Effect of technical parameters on porous structure and strength of 3D printed calcium sulfate prototypes. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2016. 37: p. 57-67.
- [6] Vijay, I., et al., Optimization of Surface roughness in selective laser sintered stainless steel parts. *Int J ChemTech Res*, 2014. 6(5): p. 2993-2999.
- [7] Sood, A.K., R.K. Ohdar, and S.S. Mahapatra, Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. *Materials & Design*, 2010. 31(1): p. 287-295.
- [8] Sood, A.K., R.K. Ohdar, and S.S. Mahapatra, Experimental investigation and empirical modelling of FDM process for compressive strength improvement. *Journal of Advanced Research*, 2012. 3(1): p. 81-90.
- [9] Song, Y., et al., Measurements of the mechanical response of unidirectional 3D-printed PLA. *Materials & Design*, 2017. 123: p. 154-164.
- [10] Torres, J., et al., An approach for mechanical property optimization of fused deposition modeling with polylactic acid via design of experiments. *Rapid Prototyping Journal*, 2016. 22(2): p. 387-404.
- [11] Domingo-Espin, M., et al., Mechanical property characterization and simulation of fused deposition modeling Polycarbonate parts. *Materials & Design*, 2015. 83: p. 670-677.
- [12] Hart, K.R. and E.D. Wetzel, Fracture behavior of additively manufactured acrylonitrile butadiene styrene (ABS) materials. *Engineering Fracture Mechanics*, 2017. 177(Supplement C): p. 1-13.
- [13] Alafaghani, A.a., et al., Experimental Optimization of Fused Deposition Modelling Processing Parameters: A Design-for-Manufacturing Approach. *Procedia Manufacturing*, 2017. 10(Supplement C): p. 791-803.
- [14] Casavola, C., et al., Orthotropic mechanical properties of fused deposition modelling parts described by classical laminate theory. *Materials & Design*, 2016. 90: p. 453-458.
- [15] Carneiro, O., A. Silva, and R. Gomes, Fused deposition modeling with polypropylene. *Materials & Design*, 2015. 83: p. 768-776.
- [16] Dickson, A.N., et al., Fabrication of Continuous Carbon, Glass and Kevlar fibre reinforced polymer composites using Additive Manufacturing. *Additive Manufacturing*, 2017.
- [17] Nevin, H. and H. Mehrdad, Deposition direction-dependent failure criteria for fused deposition modeling polycarbonate. *Rapid Prototyping Journal*, 2014. 20(3): p. 221-227.