

Optimisation des paramètres d'impression 3d : Recherche actuelle et perspectives

Kh. ABOUZAIID¹, A. CHOUAF¹, M. CHERGUI¹, M. OTHMANI¹

¹ Laboratoire Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des Structures (LCCMMS), Université Hassan II Casablanca, ENSEM, Khaoula.abouzaid@ensem.ac.ma

Résumé

La fabrication additive (FA) est un procédé de fabrication qui est apparu dans les années 80 et développé par la suite pour qu'il soit utilisé de manière rentable et fonctionnelle par les industriels. Ce procédé est défini comme étant le procédé de mise en forme d'une pièce par ajout de matière, à l'opposé de la mise en forme traditionnelle par enlèvement de matière.

Contrairement aux autres techniques de la FA, la technique de dépôt de matière fondue a pris une grande importance dans le marché de la fabrication additive suite aux avantages qu'elle présente. Le mérite de cette technique, par rapport aux procédés classiques, est la fabrication des pièces complexes en un temps réduit avec un faible coût. Malheureusement, cette technique présente encore des inconvénients au niveau de produit abouti ce qui pousse les chercheurs à les améliorer grâce à l'optimisation des conditions d'impression.

Mots clefs: *Impression 3d, Fabrication Additive, La technique de dépôt de matière fondue*

1. Introduction

A l'origine, le procédé de la fabrication additive était réservé au prototypage, et donc à la partie pré-production d'un produit. Actuellement, ce procédé est utilisé aussi dans la phase de production. Cependant, la contrainte rencontrée lors de l'impression est le temps d'impression, qui limite donc son utilisation aux productions de pièces en petite et moyenne séries. La fabrication additive est également utile dans la phase post production du cycle de vie d'un produit. En effet, elle peut être utilisée pour réparer des pièces endommagées.

La FA présente de nombreux avantages par rapport aux procédés classiques : elle permet notamment de fabriquer des formes très complexes, certaines irréalisables avec les procédés conventionnels et avec une grande diversité de matériaux. Ce qui permet de réaliser des pièces monobloc, c'est-à-dire des pièces sans assemblage. Le coût de fabrication est également intéressant, chose qui est garantie par la FA en plus d'une simplification du processus global (suppression de certains traitements thermiques, optimisation d'opérations multiples).

La FA admet plusieurs procédés d'impression tridimensionnelle, basée sur différentes formes de matière première tels que les matières en poudre, en liquide ou bien solide dont les plus utilisés sont les techniques basées sur les matières fondues. Parmi ces dernières, la technique de dépôt de matière fondue est la

plus utilisée actuellement, dû aux avantages qui présente comparant aux autres techniques de la FA tels que la simplicité du procédé qui rend l'utilisation de la machine idéale pour les hobbies ainsi que pour les utilisations professionnelles. En outre, les matériaux utilisés par ce procédé sont caractérisés par des importantes propriétés mécaniques et ne changent pas avec le temps ou l'exposition environnementale [1].

2. Technique de dépôt de matière fondue (FDM)

La technique de dépôt de matière fondue est un procédé thermique qui utilise un système chauffant permettant de fondre la matière première (matière plastique) afin de former des filaments (fig.1)

Après avoir été fondu, le matériau est déposé par une buse d'extrusion sur la table d'impression mobile. Et comme le filament extrudé est visqueux, l'opération de son collage sur la couche qui précède devient facile. Ainsi, l'exposition du matériau à la température ambiante permet son refroidissement ce qui conduit à la fabrication de la géométrie finale du produit [2, 3].

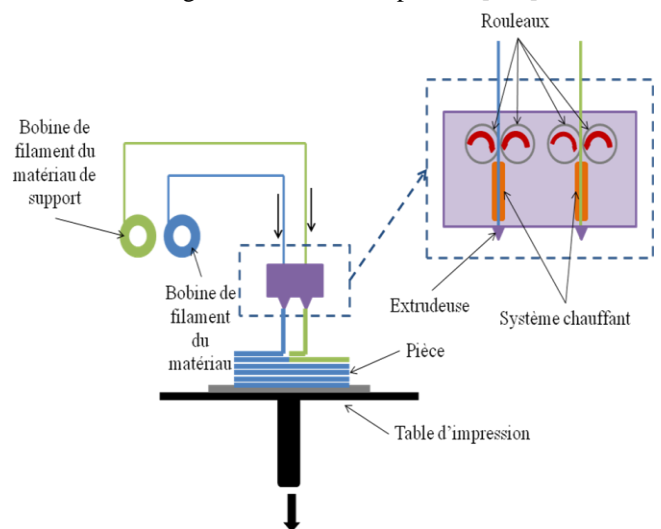


Fig.1. La technique de la FDM

L'imprimante de la technique FDM admet plusieurs paramètres ayant des rôles dominants dans l'obtention d'un bon produit dont les éléments clé sont : l'épaisseur de couche, les dimensions des filaments déposés, l'orientation des pièces ...

Le déterminer des valeurs optimales de ces paramètres est une étape cruciale pour assurer la qualité des produits, améliorer les propriétés mécaniques et esthétiques et réduire le temps ainsi que le coût d'impression.

Dans le cas de la technique de FDM, cette tâche présente plus de difficultés à cause du nombre de paramètres mentionnés sur la figure. 2.

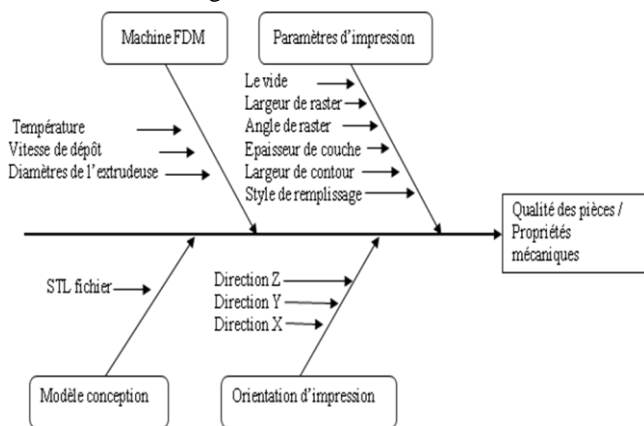


Fig.2. diagramme cause-effet des paramètres de FDM

Les principaux paramètres auxquels les chercheurs sont intéressés pour améliorer les propriétés des pièces imprimées sont décrits comme suit (fig. 3) [4] :

- *Orientation d'impression*: c'est l'angle suivant lequel la pièce est imprimée.
- *L'épaisseur de la couche*: c'est l'épaisseur de la couche déposée par la tête d'impression sur la table d'impression. Ce paramètre dépend du diamètre de la tête d'impression.
- *Le vide connu par « Air gap »*: c'est le vide entre les filaments au niveau de la même couche.
- *Angle de raster*: c'est l'angle entre le filament déposé est l'axe X au niveau de la première couche imprimée. Généralement cet angle est compris entre 0° et 90°.
- *Largeur de raster*: c'est la largeur du filament déposé. Ceci dépend aussi du diamètre de la buse d'impression.
- *La vitesse d'extrusion*: c'est la vitesse du dépôt de la matière.
- *Style de remplissage*: c'est le type de remplissage de la pièce. Il est défini par le pourcentage de remplissage de la pièce par la matière.

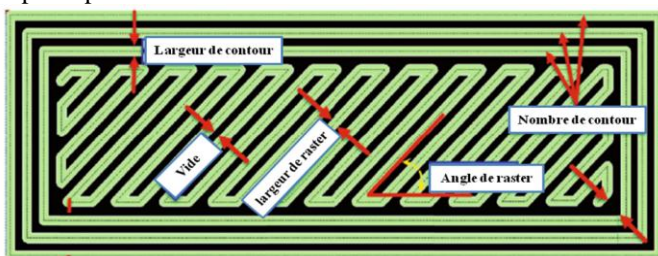


Fig. 3. Les différents paramètres d'impression d'une couche

3. Etudes d'optimisation

Plusieurs études ont été effectuées dans le cadre de l'optimisation des paramètres d'impression par la technique de dépôt de matière fondue dans le but d'améliorer les propriétés mécaniques, l'état de surface, la précision dimensionnelle, le coût et le temps d'impression en travaillant avec une méthode directe ou en utilisant des outils d'optimisation expérimentaux et analytiques.

La plupart de ces études suggère l'utilisation d'une méthode statistique ou technique d'optimisation pour étudier l'impact des paramètres critiques sur la qualité des pièces imprimées par cette technique dû à la fiabilité des résultats obtenus par ces méthodes.

Les paramètres d'impression les plus traités dans le cas de la technique de dépôt de matière fondue sont : l'épaisseur de couche, l'orientation de la pièce, les dimensions des filaments déposés (largeur et angle) ainsi que le vide entre eux. Mais le degré d'influence de ces paramètres sur les pièces varie d'une caractéristique à autre.

La majorité des études entamées pour améliorer les caractéristiques esthétiques (l'état de surface et précision dimensionnelle) utilisent des techniques d'optimisation telle que Taguchi, ANOVA, Signale/Bruit (S/N) afin de réduire le nombre des pièces imprimés, proposer une combinaison optimale et aboutir à un model prévisionnelle. Ces études montrent que le paramètre le plus influent sur l'état de surface est l'épaisseur de couche suivi par la largeur des filaments déposés et l'orientation de la pièce [5,14], tandis que ce dernier paramètre présente un grand impact sur la précision dimensionnelle [7,8]. Les faibles valeurs de l'épaisseur de couche ainsi que les larges des filaments permettent une diminution de la rugosité alors que les valeurs modérées de la largeur du raster et l'orientation de 0° réduisent les erreurs dimensionnelles. Le vide entre les filaments déposés pose aussi un problème au niveau de la pièce finale où il présente plus d'impact sur la précision dimensionnelle que l'état de surface.

Et pour arriver à une erreur dimensionnelle minimale et garantir un bon état de surface, il est recommandé d'utiliser la combinaison suivante : une faible épaisseur de couche, une largeur moyenne de raster et une orientation de 0° [9,10].

Dans le cas d'impression des pièces fonctionnelles, les propriétés mécaniques sont les cruciales caractéristiques. Les études réalisées dans ce volet sont focalisées sur la rigidité des pièces imprimées en utilisant une méthode directe basée, généralement, sur l'essai de traction des éprouvettes de type haltère sans l'utilisation d'une technique d'optimisation. Ces études montrent que tous les paramètres cités auparavant influencent sur la rigidité des pièces mais le degré d'influence de l'orientation de la pièce ainsi que l'angle de raster est le plus important. A l'aide d'une étude empirique par la méthode ANN (Artificial Neural Network), il est montré que les valeurs négatives du « air gap », les largeurs minimales ainsi que les grands angles de raster assurent une bonne rigidité [11, 12, 13].

Parmi les avantages de la technique de FDM, on trouve le faible coût d'impression, mais le souci se pose au niveau du temps d'impression qui est généralement long d'où l'amélioration de ce dernier est indispensable. Les études qui ont traité le temps d'impression ne sont pas nombreuses, mais ils affirment les mêmes résultats. Les paramètres permettant de réduire le temps d'impression sont l'épaisseur de couche et l'orientation d'impression. Malheureusement ces études n'ont pas présenté les valeurs optimales [14, 15, 16].

4. Discussion

Comme c'est mentionné dans le paragraphe précédent, différents paramètres d'impression ont un impact sur la qualité des pièces imprimées par la technique de dépôt de matière fondue. Récemment, toutes les études ont été focalisées sur l'identification des valeurs optimales pour améliorer les caractéristiques mécaniques et esthétiques des produits obtenus par la technique de la FDM. Cependant, ils n'ont pas encore arrivées à obtenir les valeurs parfaites qui permettent de garantir cette qualité pour tous les types des pièces et des matériaux. Un autre manque de résultat est présenté au niveau de multi-objectif optimisation, autrement dit, l'optimisation de plusieurs réponses en même temps. Les chercheurs se focalisent surtout à l'amélioration d'une seule ou deux caractéristiques et non pas toutes les caractéristiques. Aussi, avec la technique de la FDM, il est possible d'imprimer plusieurs types de matériaux tels que l'ABS, Polyphénylsulfone (PPSF), PC-ABS, PC, PC-ISO, et le nylon-12. Plusieurs études ont traité l'effet des paramètres d'impression sur des pièces imprimées. Cependant, le comportement du matériau utilisé est rarement pris en compte.

Il existe aussi des contraintes imposées au niveau de l'imprimante qui nous limite lors de choix des paramètres tel que le diamètre de l'extrudeuse. Chaque imprimante possède une ou maximum deux extrudeuse avec un seul diamètre ce qui limite l'intervalle de l'épaisseur de couche ainsi que la largeur de raster. Ce point nous a posé des problèmes lors de l'impression des pièces en ABS. Les valeurs proposées par l'imprimante ne nous permettent pas d'aboutir à de bon produit tel que c'est présenté sur la figure 4. La mauvaise qualité de la pièce obtenue est due aussi à la conception de l'imprimante. La plupart des imprimantes trouvées sur le marché se caractérise par une table d'impression exposée à l'air ce qui rend la solidification de la pièce rapide et ce qui empêche par la suite l'adhésion de la couche qui suit. L'amélioration de la qualité de nos produits nécessite alors une analyse plus profonde au niveau des paramètres d'impression, de conception de l'imprimante ainsi que le traitement du fichier numérique qui présente aussi des difficultés lors de l'impression. Ces différents aspects feront l'objectif de nos prochaines études.

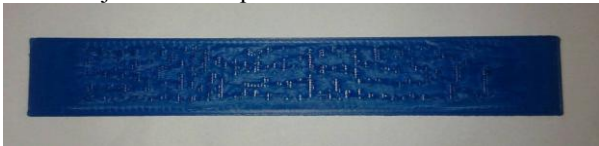


Fig. 4. Eprouvette imprimée par 3D Freesculpt

5. Conclusion

L'impression 3D est une technologie surprenante, susceptible, selon certains, 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.

Le dépôt de filaments de matière fondue est l'une des principales méthodes d'impression tridimensionnelle. En effet, sur le marché, l'impression 3D par dépôt de matière fondue réalise d'importants bénéfices tels que son faible cout, sa facilité d'utilisation ainsi que l'utilité majeure de

ces matériaux adaptatifs, ce qui pousse les chercheurs à la développer afin d'obtenir des produits avec des caractéristiques mécaniques proches de celles obtenues par les procédés classiques. Un travail important est néanmoins encore nécessaire avant d'arriver à ce stade. Pour cela, notre prochaine étude sera focaliser sur l'amélioration de la technique de la FDM afin d'obtenir une bonne qualité mécanique des pièces imprimées.

Références

- [1] O.A. Mohamed et al., *Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects*, *Advances in Manufacturing* 2015, 42-53.
- [2] S. Guessasma et al., *Challenges of additive manufacturing technologies from an optimization perspective*, *Int. J. Simul. Multisci. Des. Optim.* 2015.
- [3] BN. Turner et al., *A review of melt extrusion additive manufacturing processes: II. Materials, dimensional accuracy, and surface roughness*, *Rapid Prototyping J.* 2015, 250-261.
- [4] Omar A. Mohamed and al., *"Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects"*. *Advances in Manufacturing*;3(1):42-53. 2015.
- [5] Anitha R and al., *"Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling"*. *J Mater Process Technol* 118(1-3):385-388, 2001.
- [6] S. Dinesh Kumar and al., *"Parameter Optimization of ABS-M30i Parts Produced by Fused Deposition Modeling for Minimum Surface Roughness"*, *International Journal of Current Engineering and Technology, Special Issue-3, (April 2014)*.
- [7] Sood AK, and al., *"Improving dimensional accuracy of fused deposition modeling processed part using grey Taguchi method"*, *Mater Des* 30(10):4243-4252, 2009.
- [8] Pavan Kumar Gurralla and al., *"DOE Based Parametric Study of Volumetric Change of FDM Parts"*, *Proc Mater Scien* 6, 354 - 360, 2014.
- [9] Nancharaiah T and al., *"An experimental investigation on surface quality and dimensional accuracy of FDM components"*. *Int J Emerg Technol* 1(2):106-111, 2010.
- [10] Vijay B. Nidagundi et al., *"Studies on Parametric Optimization for Fused Deposition Modelling Process"*, *Materials Today: Proceedings* 2, 1691 - 1699, 2015.
- [11] Sood AK and al., *"Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modeling processed parts"*, *Mater Des* 31(1):287-295, 2010.
- [12] Anoop K. Sood and al., *"Experimental investigation and empirical modeling of FDM process for compressive strength improvement"*, *Journal of advance research* 3: 81-90, 2012.
- [13] Anoop Kumar Sood and al., *"An investigation on sliding wear of FDM built parts"*, *CIRP Journal of Manu Scien and Techno* 5, 48-54, 2012.
- [14] Nancharaiah T (2011) *Optimization of process parameters in FDM process using design of experiments*. *Int J Emerg Technol* 2(1):100-102
- [15] Kumar GP, Regalla SP (2012) *Optimization of support material and build time in fused deposition modeling (FDM)*. *Appl Mech Mater* 110:2245-2251.
- [16] Thrimurthulu K, Pandey PM, Reddy NV (2004) *Optimum part deposition orientation in fused deposition modeling*. *Int J Mach Tools Manuf* 44(6):585-594.