



**HAL**  
open science

## Solutions de simulation numérique de l'impression 3d de matériaux expansifs pour la réalisation de pièces de très grandes dimensions

Elodie Paquet, Benoit Furet, Sébastien Garnier, Sébastien Le Loch, Alain Bernard

### ► To cite this version:

Elodie Paquet, Benoit Furet, Sébastien Garnier, Sébastien Le Loch, Alain Bernard. Solutions de simulation numérique de l'impression 3d de matériaux expansifs pour la réalisation de pièces de très grandes dimensions. NAFEMS FRANCE 2020, Nov 2020, Paris, France. hal-03035913

**HAL Id: hal-03035913**

**<https://hal.science/hal-03035913>**

Submitted on 2 Dec 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Solutions de simulation numérique de l'impression 3d de matériaux expansifs pour la réalisation de pièces de très grandes dimensions**

**Elodie PAQUET** <sup>1</sup>, Benoit FURET <sup>1</sup>, Sébastien GARNIER <sup>1</sup>, Sébastien LE LOCH <sup>1</sup>, Alain BERNARD <sup>2</sup>

*1. UNIVERSITY OF NANTES : Laboratoire LS2N (UMR UMR6004), IUT de Nantes, 2 avenue du Professeur Jean Rouxel, 44470 Carquefou*

*2. ECOLE CENTRALE ENGINEERING SCHOOL OF NANTES: Laboratoire LS2N (UMR UMR6004), ECN, 1 Rue de la Noë, 44300 Nantes*

\* Corresponding authors. E-mail address: elodie.paquet@univ-nantes.fr

### Résumé :

L'impression 3D à base de polymère expansif également appelé technologie « FAM Foam Additive Manufacturing » [1] est un processus de fabrication additive permettant d'obtenir des pièces de grande dimension en déposant des couches successives de mousse de polyuréthane[2]. Cette technologie peu coûteuse permet de produire de grandes pièces en un temps réduit. Le procédé consiste à déposer le long d'une trajectoire un polymère à l'état liquide qui va s'expanser et se solidifier en seulement quelques secondes pour permettre l'impression des nouvelles couches de matière qui créera la pièce finale. C'est de l'impression 3D XXL.

Cependant, la qualité des pièces produites avec cette technologie FAM est fortement dépendante des différents phénomènes thermiques présents lors de la fabrication et également par les écarts géométriques qui se créent lors de la dépose de la couche supérieure d'un cordon sur une strate ayant déjà un état de surface non homogène dû à l'expansion de la matière[4].

Grâce aux modèles numériques et à une caractérisation du matériau imprimable [3], il est possible d'analyser l'influence des paramètres opératoires sur les différents observables, et donc d'avoir une meilleure compréhension des phénomènes impliqués afin d'optimiser les stratégies de dépose pour garantir la géométrie de la pièce et la santé matière.

Les modèles numériques qui sont utilisés et implémentés dans le logiciel REM3D [5] permettent d'obtenir la géométrie des cordons déposés, les champs de température vis-à-vis de la vitesse de dépose ainsi que la construction de la pièce couche par couche, en partant seulement des paramètres opératoires.

La figure 1 représente à gauche le résultat d'une simulation de dépose de cordon à partir d'une trajectoire robot avec vitesse constante et à droite le résultat issue de l'expérimentation.

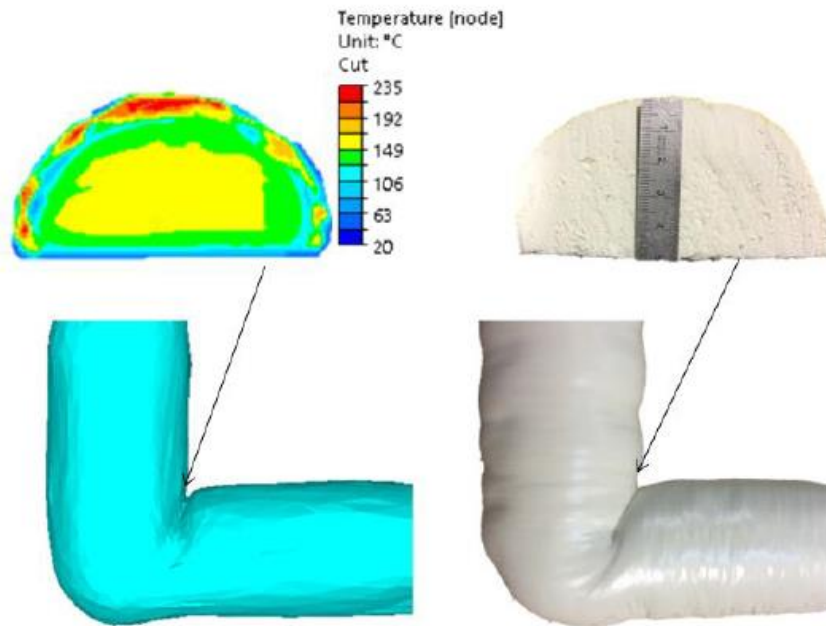


Figure 1: Simulation de l'impression d'un angle droit et expérimentation avec dépose robotisée.

L'objectif de ce travail est de présenter notre démarche scientifique associée à la construction d'un modèle géométrique et thermique prédictif du processus FAM par la méthode des éléments finis. L'objectif final est de fournir des cartes de température tout au long du processus de fabrication et également de choisir la meilleure stratégie d'impression 3D pour avoir un modèle avec des strates constantes et la plus petite déviation de forme possible. Le modèle proposé et les différentes techniques de simulation utilisées sont détaillés dans cet article. Ce modèle développé sous le code éléments finis Rem3D a été validé par des tests expérimentaux effectués avec un robot sériel 6 axes et une machine de dépose de mousse polyuréthane haute pression.

La mousse polyuréthane utilisé dans notre procédé de fabrication additive est un polymère très réactif qui est composé de deux composants un isocyanate et un polyol qui viennent se mélanger pour former un matériau qui va s'expanser quarante fois son volume et qui va durcir en quelques secondes.

Suivant la composition chimique des matières premières utilisés pour produire la mousse, le matériau n'aura pas le même profil de réactivité et va ainsi mettre des temps différents à expansé et va avoir des points exothermiques à différentes températures... De ce fait, suivant la composition de la mousse que nous utilisons pour l'impression, nous aurons des cordons avec des morphologies différentes. Il est donc indispensable de pouvoir caractériser le matériau que l'on utilise pour pouvoir maitriser au mieux son expansion et donc la forme des cordons déposés.

Hors, contrairement au procédé d'injection classique de mousse qui utilise des polymères expansifs avec des réactions lentes et qui sont facilement caractérisable en laboratoire avec des protocoles basique tel que le foamat. Les mousses que l'on utilise en impression 3D ont une réactivité supérieure et très forte qui ne permet pas une caractérisation traditionnelle en laboratoire. Nous avons donc développer une propre méthodologie de caractérisation de mousse imprimable directement in-situ.[Fig.2]

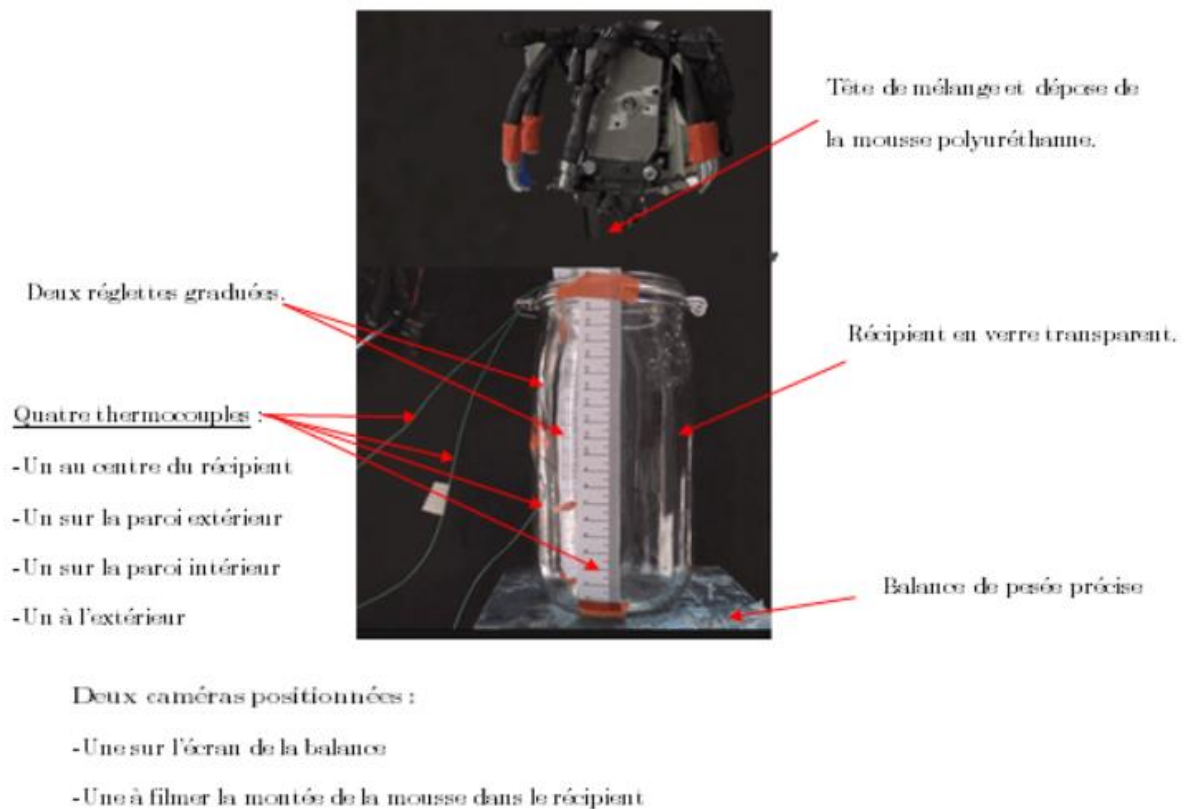


Figure 2: Protocole de caractérisation de mousse imprimable directement in-situ.

Pour nous aider à mieux comprendre les couplages des phénomènes physiques mise en œuvre dans notre procédé lors de la fabrication d'une pièce avec de la mousse qui a été caractérisé par ajout de matière, nous nous sommes tournés vers deux échelles de modélisations : la modélisation « mésoscopique » à l'échelle d'un ou des cordons et la modélisation « macroscopique » à l'échelle de la pièce.

Les simulations permettent de déterminer les meilleures stratégies pour le processus d'impression 3D afin de garantir la géométrie correcte de la pièce finale et la bonne santé du matériau. Comme le montre la figure 3, il est alors possible de comparer l'image simulée à l'image prise à partir d'une section de couche imprimée.

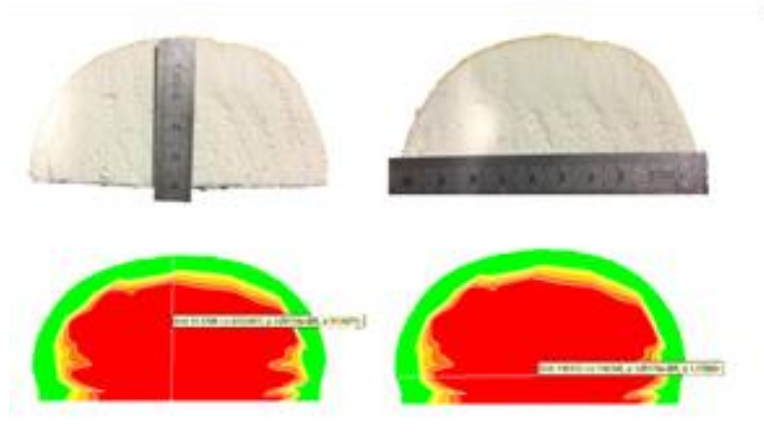


Figure 3: Exemple d'une analyse menée entre un cordon simulé et un cordon imprimé avec un débit de 43g/d et une vitesse de dépose de 10.2m/s

## MOTS-CLES DU THEME

Robotique, Additive Manufacturing, Simulation des procédés, Impression 3D de mousse.

## REFERENCES

- [1] Furet, Benoît & Poullain, Philippe & Garnier, Sebastien. (2019). 3D printing for construction based on a complex wall of polymer-foam and concrete. *Additive Manufacturing*. 28. [10.1016/j.addma.2019.04.002](https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.002).
- [2] S. J. Keating, J. C. Leland, L. Cai, and N. Oxman, "Toward site-specific and self-sufficient robotic fabrication on architectural scales," *Sci. Robot.*, vol. 2, no. 5, p. 15, 2017, DOI: [10.1126/scirobotics.aam8986](https://doi.org/10.1126/scirobotics.aam8986)
- [3] Abdessalam, H., Abbès, B., Li, Y. et al. Parameter identification and computational simulation of polyurethane foaming process by finite pointset method. *Int J Mater Form* 9, 85–100 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12289-014-1210-y>
- [4] Eric Barnett, Clément Gosselin, Large-scale 3D printing with a cable-suspended robot, *Additive Manufacturing*, Volume 7, 2015, Pages 27-44, ISSN 2214-8604, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2015.05.001>.
- [5] Logiciel REM3D commercialisé par la société Transvalor.