
De l'interaction pour plus de flexibilité en fabrication additive

Sébastien Ibarboure

Univ. Bordeaux, ESTIA Institute of Technology, LaBRI
Bidart, France
s.ibarboure@estia.fr

ABSTRACT

For manual operation of an additive manufacturing process for industrial purposes, we are investigating sensory perception by an operator of various criteria to monitor the fabrication. For instance we are focusing in the perception of a geometrical criterion using tactile feedback.

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → **HCI theory, concepts and models; Pointing; Visualization techniques.**

KEYWORDS

Interactive Fabrication, Tactile Feedback, Augmented Reality, Additive Manufacturing, Industry 4.0.

RÉSUMÉ

Dans le cadre d'une mise en œuvre industrielle de la fabrication additive, nous nous intéressons à la perception sensorielle des critères permettant l'évaluation du bon déroulement de cette fabrication. Nous investiguons pour le moment la perception d'un critère géométrique par l'utilisation d'un dispositif tactile.

MOTS CLÉS

Fabrication Additive, Interactive Fabrication, Retour Tactile, Réalité Augmentée, Industrie 4.0.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

IHM'19 Extended Abstracts, December 10–13, 2019, Grenoble, France

© 2019 Copyright held by the owner/author(s).

INTRODUCTION

L'Usine 4.0 est un nouveau modèle économique qui propose la production en faible volume d'un produit personnalisé pour chaque client [4]. Pour cela elle déploie la fabrication additive (Tableau 1). Ce procédé de fabrication requiert aujourd'hui de définir les propriétés physiques et géométriques de la pièce mécanique avant sa réalisation automatisée. La mise en œuvre du procédé est très rigide et aucune modification de la pièce en fabrication n'est possible sans la réexécution de l'ensemble du processus de fabrication. Cependant les difficultés à modéliser la physique des procédés de fabrication rendent la mise en œuvre variable. L'apparition d'aléas de fabrication est alors possible durant la fabrication [5]. Pour améliorer le déroulement de la fabrication, il faut prendre en compte ces aléas dès leur apparition. Leur nature imprévisible rend l'intervention de l'opérateur pertinente.

Nous proposons alors de rendre la mise en œuvre de la fabrication plus flexible en permettant à un opérateur d'en interrompre le déroulement pour répondre à l'apparition d'un aléa. Pour cela nous proposons de modifier la Chaîne Numérique pour que l'opérateur soit libre d'agir directement sur l'entité en fabrication.

Dans la suite de cet article, nous présentons d'abord un état de l'art sur l'interaction humaine dans les procédés de fabrication additive. Nous discutons ensuite de la manière dont le processus actuel doit être modifié pour permettre cette interaction de l'opérateur avec le procédé de fabrication additive. Nous poursuivons sur la nécessité de faire percevoir à l'opérateur des critères de fabrication pour le suivi de la fabrication, avant de conclure sur la proposition de la perception tactile d'un critère géométrique.

ETAT DE L'ART : INTERACTION DANS LES PROCÉDÉS DE FABRICATION NUMÉRIQUE

Faciliter la mise en œuvre de la fabrication additive repose sur le rapprochement entre l'activité de conception et de fabrication. Dans *RoMA* [10], l'outil de conception est intégré à la cellule de fabrication permettant ainsi une synchronisation entre la conception et la fabrication. Le concepteur est pour cela muni d'un casque de réalité augmentée qui l'immerge dans un environnement de conception 3D. Au contact de la machine il peut faire évoluer sa conception. Dans un esprit de fabrication continue, *Composition 3D Printing* [7] propose une solution logicielle qui connecte différentes modalités d'entrées pour interagir avec l'objet en fabrication en intervenant directement sur le programme de fabrication. L'objet fabriqué n'a plus besoin d'être entièrement pensé avant d'être réalisé.

Ainsi la fabrication n'a plus besoin d'être entièrement pilotée par la machine. C'est ce qu'offre le concept de *fabrication interactive* proposé par Willis et al [6] dans lequel l'utilisateur est amené à prendre le contrôle manuel de l'outil de fabrication. Ils illustrent ce concept avec une interface tactile pour le pilotage d'une imprimante 3D. Bien que la fabrication soit directe, la fidélité de l'objet fabriqué dépend entièrement des capacités de l'utilisateur à maîtriser le comportement du procédé

Définition : La fabrication additive consiste en la génération d'une entité géométrique par ajout local et répété de matière avec ou sans changement de phase afin de former couche après couche la géométrie de la pièce [5].

Les procédés de fabrication : Ils sont catégorisés en 7 familles par la Société Américaine de Test des Matériaux (ASTM) et utilisent différents matériaux (métaux, béton, plastiques ...). Le procédé par exemple par extrusion de matière est utilisé par les imprimantes 3D plastique grand public.

Atouts / Défaits : Elle permet la fabrication de formes complexes non réalisables par les procédés classiques et la fabrication d'entité combinant plusieurs matériaux. En revanche ce sont des procédés plus lents et le dépôt répété de matière est source de nombreuses erreurs de fabrication.

Tableau 1 : La fabrication additive.

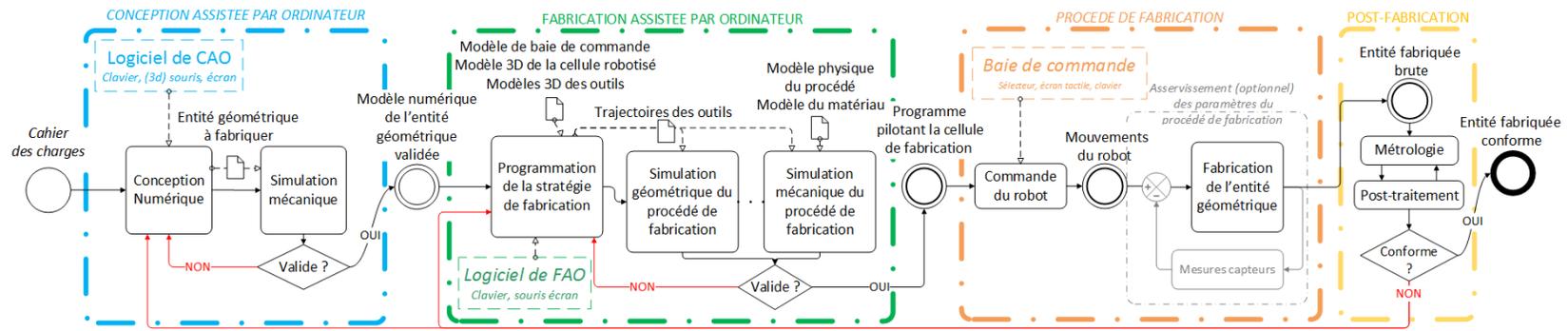


Figure 1: Le processus et le vocabulaire de la Chaîne Numérique, schématisé à partir de [2, 9].

La mise en œuvre de la fabrication additive débute par la réalisation d'une modélisation 3D de la pièce mécanique (Figure 1, Etape bleue). Cette modélisation est alors traduite en un programme machine généré à partir de la modélisation du procédé de fabrication choisi. Ce programme machine décrit la trajectoire (points de passage, mode d'interpolation et schéma de vitesse) que doit suivre l'outil pour produire la pièce mécanique (Figure 1, Etape verte). Après vérification du programme en simulation, le programme est exécuté par la baie de commande qui génère l'ensemble des mouvements de la cellule de robotisée (Figure 1, Etape orange). La fabrication se termine par l'obtention d'une pièce brute qui nécessite un post-traitement systématique afin de corriger une partie des défauts qui se sont accumulés durant la fabrication (Figure 1, Etape jaune).

Tableau 2 : Mise en œuvre de la fabrication additive par la Chaîne Numérique [2, 9]

de fabrication. Pour s'affranchir de ces difficultés, *ReForm* [11] propose un espace de fabrication bidirectionnelle où le concepteur a la possibilité soit de fabriquer en utilisant des outils de conception numérique, soit en le façonnant directement avec ses mains. Un scan 3D régulier de l'objet assure alors le passage d'un mode de fabrication à l'autre.

Ces outils se limitent à un usage non-industriel. Le public visé est celui des artistes et des designers qui veulent pouvoir tester rapidement un concept en produisant une forme en continue plus ou moins fidèle alors que nous sollicitons cette interaction pour la fabrication d'un produit fini.

UNE CHAÎNE NUMÉRIQUE ADAPTÉE À L'INTERACTION HUMAINE

La Chaîne Numérique (Tableau 2, synthétisée à partir de [2, 9]) permet l'obtention d'un programme machine décrivant les étapes nécessaires à la fabrication automatisée de l'entité géométrique modélisée. Pour permettre l'interaction de l'opérateur, il est nécessaire de modifier cette Chaîne Numérique.

Nous avons ainsi identifié qu'il est souhaitable d'intervenir lors de la conduite du procédé de fabrication (cadre orange de la Figure 1). Nous enrichissons donc la chaîne numérique en y ajoutant 3 étapes (Figure 2). D'abord une étape d'identification de l'aléa par l'évaluation des propriétés géométriques et physiques de l'entité fabriquée à partir des données collectées et de l'expertise de l'opérateur (Figure 2, Etape 1). L'opérateur pourra ensuite adapter l'exécution de la fabrication depuis la cellule robotisée pour traiter cet aléa, en modifiant soit le programme machine ou en prenant temporairement le contrôle de l'outil de fabrication (Figure 2, Etape 2). Finalement une étape de contrôle permet la reprise de la stratégie initiale de fabrication (Figure 2, Etape 3).

Avec ce changement nous nous intégrons dans le modèle de la *fabrication interactive*. Mais les enjeux ne sont pas ceux de la conception d'une forme mais de sa fabrication. L'opérateur est alors

concentré sur un processus qui assure la qualité du produit. La question suivante se pose : comment est-il possible de vérifier en temps réel le maintien des bonnes conditions de fabrication ?

POUR DES CRITÈRES DE LA FABRICATION ADDITIVE

Les procédés de fabrication produisent un ensemble de phénomènes physiques liés au matériau et à la source d'énergie employée pour le transformer. Les variations de ces phénomènes dépendent du paramétrage de la machine. La maîtrise du procédé de fabrication nécessite alors d'établir des plages de fonctionnement pour lesquelles les variations de ces phénomènes physiques sont acceptables qui donne lieu à l'établissement de critères de fabrication. Ces critères sont géométriques tels que les dimensions du cordon de matière ou le respect de l'empilement des couches, mais aussi thermiques comme la température du dépôt de matière. Ce sont ces critères que nous voulons faire percevoir à l'opérateur par l'utilisation d'une interface multisensorielle.

La perception des variations de géométrie du cordon par le canal tactile sans contact direct avec ce dernier nous intéresse plus particulièrement. La perception tactile des formes est une activité réalisée par exploration de la main avec l'objet d'étude. Des dispositifs tactiles comme Wolverine [3] et NormalTouch [1] permettent une perception à distance en reproduisant les actions mécaniques normalement ressenties (vibrations, forces) par l'utilisateur. Mais ils ont le défaut de monopoliser la main de l'utilisateur dans une tâche de perception active. C'est pourquoi nous nous inspirons des travaux de Moriyama et al [8] pour déporter ces sensations perçues par les doigts vers le bras, libérant ainsi les mains de l'utilisateur pour une tâche d'interaction. Nous voulons alors traduire les variations de largeur et de hauteur du cordon en une stimulation tactile sur la périphérie du bras par un bracelet vibrotactile ou à pression cutanée.

CONCLUSION

Notre problématique est le suivi simultané par l'opérateur de plusieurs critères traduisant du bon déroulement de la fabrication pour le cadre industriel de la fabrication additive. Nous nous intéressons dans un premier temps à la perception des variations géométriques du dépôt de matière par le canal tactile. Pour cela nous développons un bracelet vibrotactile et/ou par pression cutanée pour lequel nous voulons évaluer les performances de l'opérateur à percevoir ces variations. Une évaluation des ressentis tactiles restent à produire pour déterminer quelle fonction de transfert choisir. A termes, nous envisageons d'étudier la généralisation de la perception de plusieurs critères par plusieurs canaux sensoriels. Cependant il reste en définir les limites. Il faudra définir s'il existe des règles privilégiant des associations critères/sens plutôt que d'autre. Nous pensons par exemple au nombre maximal de critères simultanément perceptibles ou au type et à la quantité maximale d'informations transmises.

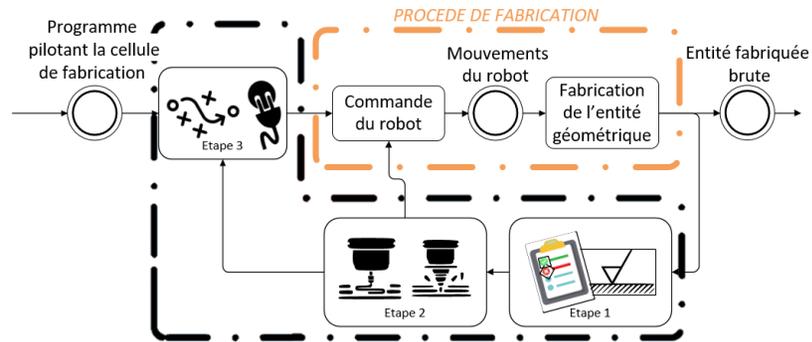


Figure 2: Modification de la Chaîne Numérique permettant l'interaction directe de l'opérateur avec le procédé pendant la fabrication.

ACKNOWLEDGMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet HINDCON, financé par l'appel à projet européen H2020-IND-CE-2016-17 (projet n° 723611).

REFERENCES

- [1] Hrvoje Benko, Christian Holz, Mike Sinclair, and Eyal Ofek. 2016. NormalTouch and TextureTouch: High-fidelity 3D Haptic Shape Rendering on Handheld Virtual Reality Controllers (*UIST '16*).
- [2] Renan Bonnard, Jy Hascoet, Pascal Mognol, and Ian Stroud. 2018. STEP-NC digital thread for additive manufacturing: data model, implementation and validation. In *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*.
- [3] Inrak Choi and Sean Follmer. 2016. Wolverine: A Wearable Haptic Interface for Grasping in VR (*UIST '16 Adjunct*).
- [4] Association Française de Mécanique. 2015. Enjeux industriel et sociétaux. In *Livre Blanc de la Recherche en Mécanique*.
- [5] William E. Frazier. 2014. Metal Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance* (2014).
- [6] Kuan-Ju Wu Golan Levin Karl D.D. Willis, Cheng Xu and Mark D. Gross. 2011. Interactive fabrication: new interfaces for digital fabrication. In *TEI'11*.
- [7] Jeeun Kim, Clement Zheng, Haruki Takahashi, Mark D Gross, Daniel Ashbrook, and Tom Yeh. 2018. Compositional 3D Printing: Expanding & Supporting Workflows Towards Continuous Fabrication. In *Proceedings of the 2Nd ACM Symposium on Computational Fabrication (SCF '18)*.
- [8] T. K. Moriyama, A. Nishi, R. Sakuragi, T. Nakamura, and H. Kajimoto. 2018. Development of a wearable haptic device that presents haptics sensation of the finger pad to the forearm. In *2018 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*.
- [9] A. R. Nassar and E. W. Reutzel. [n. d.]. A Proposed Digital Thread for Additive manufacturing. In *Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings (SFF '04)*.
- [10] Huaishu Peng, Jimmy Briggs, Cheng-Yao Wang, Kevin Guo, Joseph Kider, Stefanie Mueller, Patrick Baudisch, and François Guimbretiére. 2018. RoMA: Interactive Fabrication with Augmented Reality and a Robotic 3D Printer (*CHI '18*).
- [11] Christian Weichel, John Hardy, Jason Alexander, and Hans Gellersen. 2015. ReForm: Integrating Physical and Digital Design Through Bidirectional Fabrication (*UIST '15*).