



**HAL**  
open science

## Workshop Interdisciplinaire en Master sur la mise en oeuvre d'un procédé robotisé d'impression 3D pour la construction en Outre-mer

Kévin Subrin, Elodie Paquet, Halim El Baba, Benoit Furet

### ► To cite this version:

Kévin Subrin, Elodie Paquet, Halim El Baba, Benoit Furet. Workshop Interdisciplinaire en Master sur la mise en oeuvre d'un procédé robotisé d'impression 3D pour la construction en Outre-mer. CNRIUT 2023 Saint Pierre - La Réunion, IUT de Saint Pierre, Jun 2023, Saint Pierre (La Réunion), La Réunion. hal-04326707

**HAL Id: hal-04326707**

**<https://hal.science/hal-04326707>**

Submitted on 6 Dec 2023

**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.

# Workshop Interdisciplinaire en Master sur la mise en oeuvre d'un procédé robotisé d'impression 3D pour la construction en Outre-mer

---

Kevin Subrin<sup>1</sup>    Elodie Paquet<sup>1</sup>    Halim El Baba<sup>1</sup>    Benoit Furet<sup>1</sup>

kevin.subrin@ls2n.fr    elodie.paquet@ls2n.fr    halim.elbaba@univ-nantes.fr    benoit.furet@ls2n.fr

<sup>1</sup> IUT de Nantes, Nantes Université  
Ecole Centrale Nantes, CNRS, LS2N, UMR 6004, F-44000 Nantes

**THÈMES** – *Environnement - Informatique - Robotique - Matériaux*

**RÉSUMÉ** – *Travailler sous la forme d'un Workshop sur une thématique est une forme d'apprentissage favorisant l'autonomie s'approchant du fonctionnement d'une équipe projet en entreprise. C'est dans ce cadre, que 25 étudiants du Master Interdisciplinaire en Technologie Innovante de l'IUT de Nantes ont réalisé durant une semaine un workshop intégrant la conception et la construction d'habitats sur l'île de Mayotte. En effet, les chiffres récents font apparaître que 40% des logements sont précaires et insalubres représentant 20000 logements alors que l'île aurait un besoin de 8000 logements locatifs sociaux à l'horizon 2025. Le workshop a pour objectif de prendre le sujet selon une approche systémique en analysant les problématiques autour des éléments "matière première, conception, procédé, machinerie" suivantes: Comment structurer la logistique de chantier pour être efficace en limitant l'impact environnemental ? Quelle perception a ce mode de construction robotisée et comment faciliter son adoption ? Quelles caractéristiques mécaniques doit avoir la terre pour s'adapter aux conditions climatiques de l'île ? Quels moyens à concevoir au plus proche du besoin ? L'article se focalise sur les problématiques recherche et présente les premiers résultats obtenus.*

**MOTS-CLÉS** – *Impression 3D, robotique, logistique de chantier, relocalisation*

## 1 Contexte

### 1.1 Nos étudiants

Le Master Interdisciplinaire en Technologies Innovantes (ITI) développe un parcours pédagogique scientifique et technologique où l'innovation est continuellement présente dans les cours en présentiel et dans les projets. Cette formation de cadre R&D répond aux besoins d'évolution de l'outil industriel des entreprises du territoire. Les parcours choisis par les étudiants sont personnalisables et polyvalents et se font par le choix d'1 majeure et de 2 mineures dans les domaines suivants : Matériaux - Produits - Procédés, Ingénierie de la Production, Électronique et Numérique, Environnement et Gestion de l'Énergie, Fabrication Avancée et Robotique; Dans le cadre de cette formation, les étudiants réalisent un workshop dont l'objectif est de s'appuyer sur les 5 parcours en les faisant travailler en mode projet collaboratif.

### 1.2 L'habitat mahorais

Sur le territoire de Mayotte, près d'un tiers des résidences principales sont des logements de fortune en tôle, dépourvus de tout confort sanitaire et d'électricité. Pour lutter contre le mal-logement, la Direction Générale des Outre-Mer s'est alliée à Nantes Université pour expérimenter de nouveaux modes de construction dans le cadre de son Plan logement Outre-Mer 2019-2022. Plus spécifiquement, il s'agit de mettre en œuvre des mesures pour lutter contre un accroissement de l'habitat spontané et précaire qui se développe sous la pression démographique. Une des idées de ce projet est d'imaginer, tester et valider l'exploitation de l'impression 3D robotisée pour la construction d'habitats par l'intermédiaire d'un logement témoin de 60m<sup>2</sup> spécifique pour Mayotte utilisant au maximum les ressources et les moyens locaux dans la construction des logements adaptés aux usages et aux conditions climatiques du territoire (températures, risques cycloniques et sismiques).

Les premiers chiffres recensés par les organismes font apparaître un besoin de 1000 logements à construire par an. Nantes Université a été choisie pour avoir été un des pionniers sur l'Habitat social après avoir réalisé une première mondiale : l'impression 3D robotisée d'un logement social [1]. L'apport de la robotisation vise à réduire la pénibilité du travail et limiter les non-qualités et les aléas de chantier surtout si la main d'œuvre est peu ou pas qualifiée.

### 1.3 Le projet

Dès lors, il est nécessaire de développer une solution adaptée. Celle-ci se fera par l'intermédiaire d'un robot déplaçable et l'exploitation de matériaux locaux, recyclés ou disponibles sur l'île. Le principe constructif par impression 3D retenue est la terre crue.

## 2 Des problématiques aux résultats

### 2.1 Définition des objectifs

4 problématiques ont été émises correspondant aux parcours du Master. Le "mahorais" étant une des deux langues sur l'île de Mayotte, nous utilisons la contraction "Maho" dans le cadre des problématiques adressées.

1. Problématique MAHO-Logistique - environnementale : l'objectif est d'analyser la question dans une approche systémique. Il est nécessaire dès lors de recenser les lieux potentiels de chantier, de mise à disposition des matières et de faire des hypothèses sur les scénarios possibles afin d'évaluer la meilleure stratégie à partir de critères d'évaluation basés sur l'impact environnemental et économique.
2. Problématique MAHO-Trajectoire : L'objectif est d'analyser l'adéquation entre le procédé et la machinerie. Les étudiants doivent dès lors maîtriser les caractéristiques mécaniques lors de l'impression et après quelques dizaines d'heures de séchage. Un ensemble de mesures et d'essais doivent permettre la réalisation de cordons réguliers d'impression déposés à une altitude maîtrisée.
3. Problématique MAHO-Paramétrique : L'objectif est de s'intéresser à la chaîne numérique depuis l'expression du besoin (forme et orientation de la maison données par l'habitant) jusqu'à la génération des trajectoires robot. Il est fait le choix de mettre en œuvre une CAO Paramétrique de la maison. Dès lors, l'analyse des espaces de travail permet de cerner les zones de posage pour pouvoir "trancher" le modèle dans l'objectif de générer les trajectoires comme dans Subrin et al. 2018 [3].
4. Problématique MAHO-Precision : l'objectif est de travailler sur la qualité de la réalisation. En effet, le fait de gérer plusieurs posages doit faire appel à des solutions de recalages géométriques du robot pour assurer le bon positionnement des éléments imprimés.

### 2.2 Premiers résultats

### 2.3 Maho-Logistique-Environnementale

La mise en œuvre d'une organisation de chantier efficiente fait appel à une compréhension des méthodes mises en œuvre dans le domaine. Dès lors, les étudiants ont travaillé sur une modélisation multi-vue du chantier et on produit un tableau multi-critères (performance environnementale et économique) mettant en œuvre des scénarios incluant les équipements potentiels à prévoir, les terrains, les transports de matériaux, les personnels à mobiliser, l'approvisionnement, le stockage...Le résultat obtenu éclaire le déroulement d'un chantier mais la complexité est autre sur le déploiement de la solution faite d'échanges avec les acteurs locaux.



FIGURE 1 – Impression de cordons; Impression finale double buse; Impression double et simple buse

### 2.3.1 Maho-Trajectoires

La mise en oeuvre de l'impression 3D repose sur une méthodologie dont les étapes sont présentées dans Paquet et al. 2022 [2]. Dès lors, les étudiants ont eu à qualifier la géométrie des cordons en fonction de la vitesse du robot (Figure 1A). Une fois réalisée, plusieurs cordons sont imprimés pour tester la tenue d'une impression fermée (Figure 1D). Au regard des temps de dépose calculés par l'équipe Logistique, il a été nécessaire de doubler la quantité de terre déposée via la conception d'un effecteur double buse (Figure 1C). Egalement, des effondrements répétés ont amené à réfléchir sur un motif interne pour la tenue des parois extérieures. Dès lors, un prototype d'effecteur en impression 3D ABS a été réalisé et de nouvelles trajectoires ont été générées incluant un motif interne (Figure 1B).

### 2.3.2 Maho-Paramétrique

Le but étant de créer des quartiers facilitant une acceptation, il est émit rapidement l'idée de faire collaborer les habitants par l'intermédiaire d'une application. Le futur habitant définit l'organisation interne et externe de sa maison ainsi que l'orientation sur le terrain. Après quelques heures de réflexion sur les formes de l'habitat pour une maison de 60m<sup>2</sup>, 4 posages permettraient d'accéder aux différents murs. 3 posages sont à l'intérieur de la maison, le dernier est à l'extérieur et doit laisser suffisamment de places pour extraire le robot avec un dispositif à fourches. La Figure 2 montre une vue de dessus de la maison, les 4 posages ainsi qu'une sphère représentant l'espace de travail du robot.

### 2.4 Maho-Precision

La qualité de réalisation repose sur la bonne planification des trajectoires au regard du positionnement du robot sur la dalle. Le travail a consisté en un recensement des

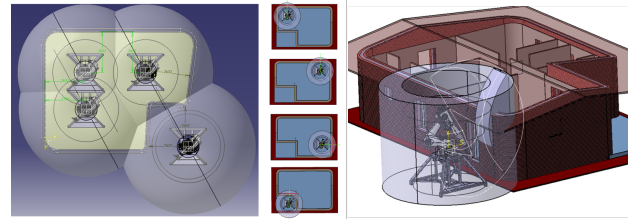


FIGURE 2 – Conception paramétrique des maisons - Analyse des posages pour analyse de la logistique

technologies existantes permettant d'estimer la pose du robot. Cette étude a mené à la mise en oeuvre d'une analyse de risques pour mettre en avant les événements redoutés.

## 3 Conclusion et Perspectives

Ce workshop interdisciplinaire s'est avéré être une semaine riche de travail en mode projet avec des relations humaines fortes, des échanges constructifs et du partage d'expériences. Ce travail continue dès lors avec un ensemble de projets de recherche portant notamment sur les ilots de fraîcheur avec un projet commun entre les IUTs de Nantes et de St Nazaire et l'Ecole d'Architecture de Nantes. Egalement, Nantes Université et son projet TIRREX XXL est pilote français dans la robotique grande dimension.

## 4 Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude aux étudiants, à l'équipe encadrante du Master, I.Petit, C.Raillard, C.Martinez, B.Feuverie, P-Y Jouan. Nous remercions également le projet EquipEx-TIRREX - ANR-21-ESRE-0015 et ses responsables S. Caro et J-P Gazeau.

## Références

- [1] Furet, Benoit, Poullain, Philippe, et Garnier, Sébastien, *3D printing for construction based on a complex wall of polymer-foam and concrete*, Additive Manufacturing, 2019, vol. 28, p. 58-64.
- [2] Paquet, Elodie, Metillon, Marceau, Subrin, Kevin, Furet Benoit et Caro Stephane *Path Generation for Foam Additive Manufacturing of Large Parts with a Cable-Driven Parallel Robot*, In : 39th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2022). 2022.
- [3] Subrin, Kévin, Bressac, Thomas, Garnier, Sébastien, Paquet, Elodie, Furet, Benoit *Improvement of the mobile robot location dedicated for habitable house construction by 3D printing*, IFAC-PapersOnLine, 2018, vol. 51, no 11, p. 716-721.