

La robotisation pour la préfabrication et la mise en œuvre d'une rénovation de bâtiment

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bock
Chair for Building Realisation and Robotics, Technical University of Munich
Munich, Germany



M. Eng. Arch. Kepa Iturralde
Chair for Building Realisation and Robotics, Technical University of Munich
Munich, Germany



La robotisation pour la préfabrication et la mise en œuvre d'une rénovation de bâtiment

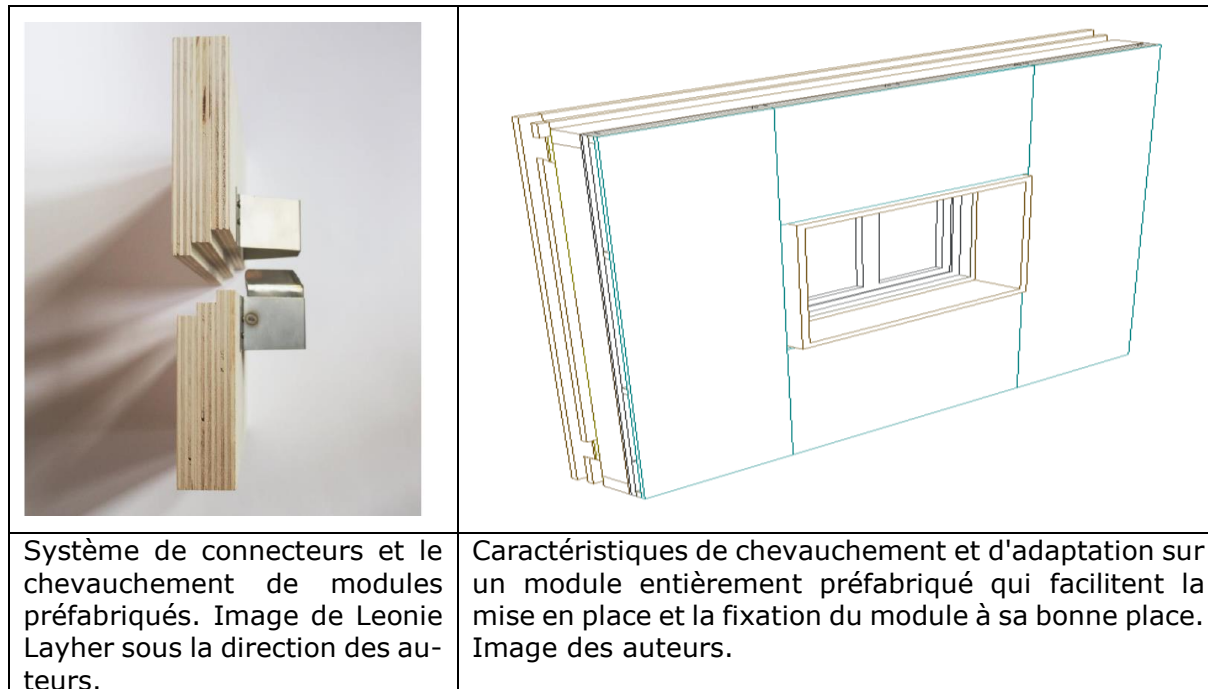
1. Introduction

Cet article passe en revue les différents aspects de la robotique et de l'automatisation dans le domaine des modules préfabriqués. Il classe également les différentes technologies qui sont appliquées à ce domaine. Dans ce document, l'accent est mis en particulier sur la rénovation des bâtiments, car dans le contexte européen, la rénovation des bâtiments est aussi importante que la construction neuve. Une vue globale est nécessaire [1] afin d'examiner l'ensemble du cycle de vie du processus. Il faut tenir compte de la sécurité, du vieillissement, de la main-d'œuvre, de la productivité, du flux et de la précision des informations et enfin du matériel.

2. Conception de systèmes de modules préfabriqués appliqués aux processus de robots et d'automatisation

Le concept du *Robot Oriented Design* (ROD) a été développé en 1988 [2]. L'idée principale consiste à faciliter les processus de fabrication, d'assemblage et d'installation à l'aide de robots. Pour cela, il est nécessaire de développer des systèmes de connexion qui facilitent une liaison intelligente. Il s'agit essentiellement de créer une conception qui facilite les processus d'assemblage et d'installation standard (Figure 1). Le chevauchement est généralement utilisé pour garantir des conditions d'étanchéité à l'eau et à l'air [3].

Figure 1: Chevauchement de modules et géométries de fixation dans des modules préfabriqués.



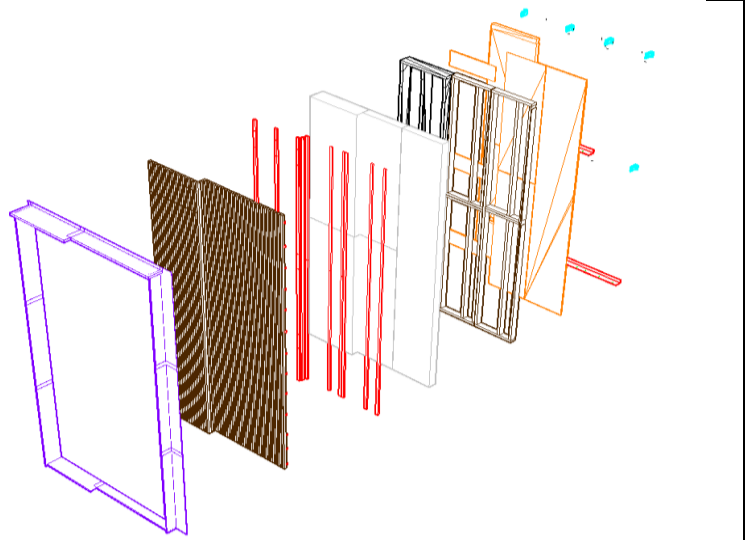
La préfabrication de modules robotisées nécessite de multiples mesures au cours du processus. L'acquisition de données fait référence à l'appréhension des conditions physiques d'un environnement. Dans le domaine de la robotique et de l'automatisation des façades préfabriquées, l'acquisition de données couvre plusieurs aspects. Il y a des tentatives d'intégration de toutes ces phases dans un flux de travail synchronisé, entièrement automatisé et robotisé [4]. Mais il reste nécessaire de créer une solution plus robuste.

Figure 2: Définition de la disposition des façades.

Complexité des modules préfabriqués.

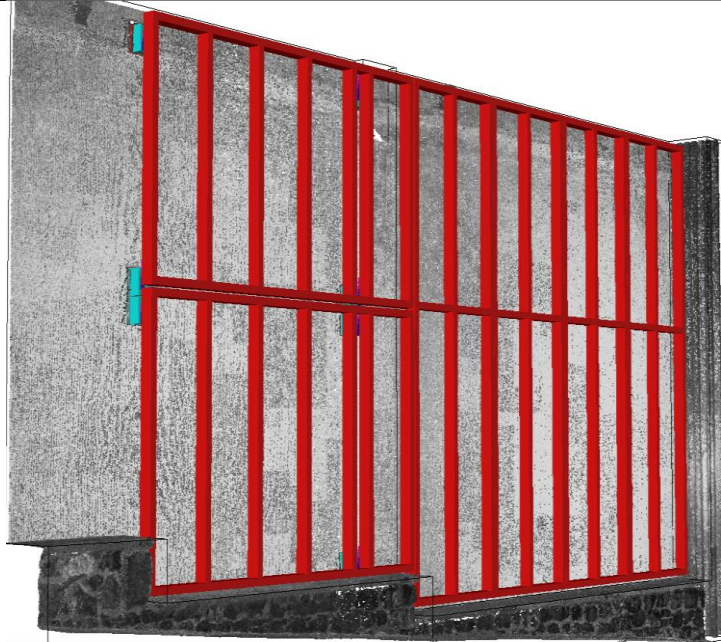
Le module préfabriqué présenté ci-contre inclue les équipements et nécessite la définition de chaque élément à assembler. Cette définition, si elle n'est pas automatisée, prend beaucoup de temps, jusqu'à 0,43 heure par m² comme déjà vérifié dans une étude précédente [5] du projet BERTIM.

Image des auteurs.

**Conception manuelle de la mise en page.**

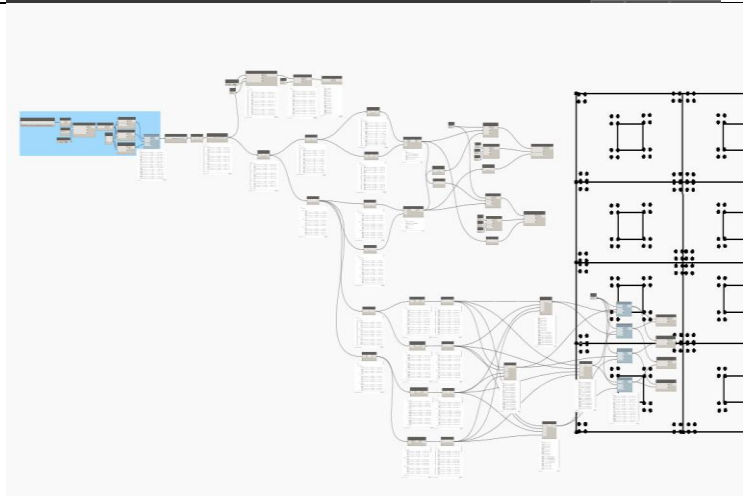
Actuellement, il est possible de concevoir directement la disposition de la façade, y compris le nuage de points à partir du scanner laser 3D. Cependant, comme cela a été le cas dans le projet BERTIM, plusieurs décisions doivent être prises, comme la définition des coordonnées planes moyennes du mur. Ce processus de prise de décision n'empêche pas la collision d'objets. De plus, en raison des angles morts, les informations nécessaires peuvent manquer.

Image des auteurs.

**Conception automatisée et définition de la mise en page.**

Comme indiqué précédemment, la définition manuelle de tous les éléments de la façade préfabriquée prend beaucoup de temps. C'est pourquoi, dans le cadre du projet BERTIM, un algorithme est en cours de développement pour définir la conception de chacun des modules préfabriqués utilisant seulement en entrée les relevés d'une station totale et le scanner laser 3D. Il s'agit d'un outil pour éviter les décisions arbitraires.

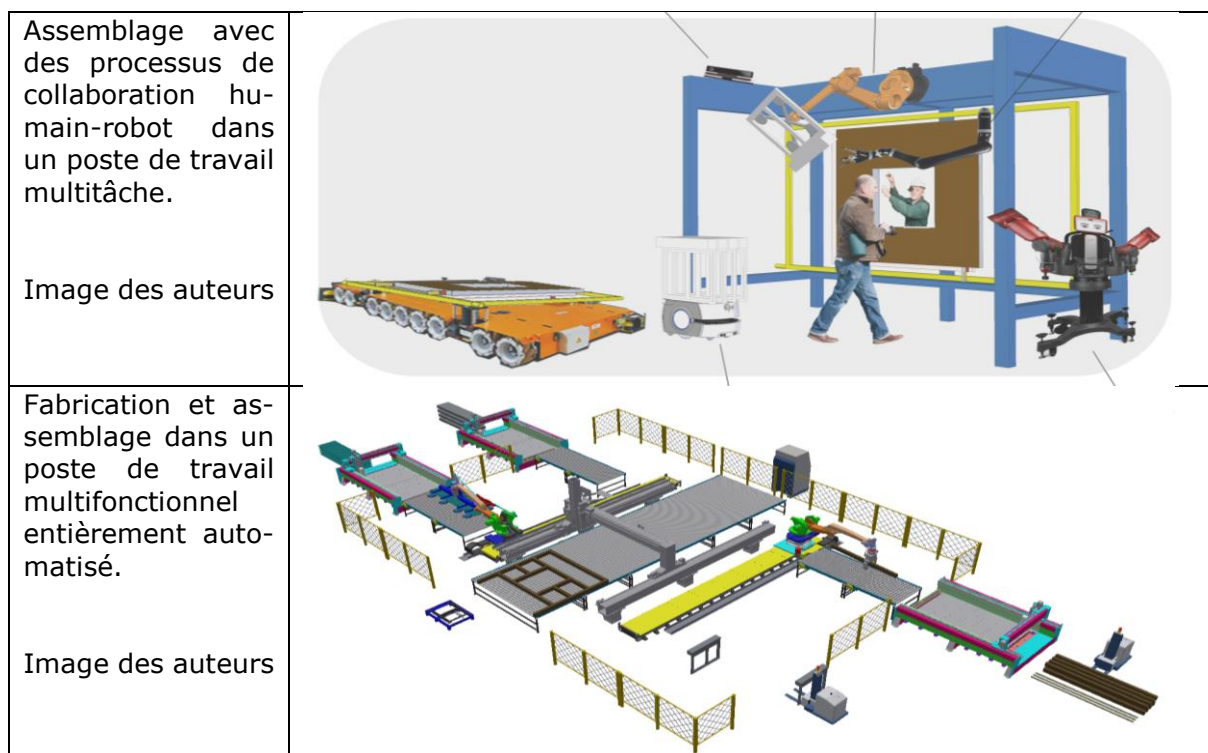
Image des auteurs.



3. Fabrication de modules de façade

La structure primaire d'une façade peut être fabriquée par des systèmes robotisés ou au moins automatisés. Les exemples et les techniques sont variés [6]. Ces machines automatisées sont déjà commercialisées. Toutefois, deux aspects doivent être améliorés. D'un côté, la précision de ces structures primaires reste un défi à relever. De l'autre côté, l'assemblage de différents matériaux sur la structure primaire est un processus plutôt manuel.

Figure 3: Différentes approches de fabrication robotisée de modules.



4. Fabrication de modules de façade

Une fois les modules fabriqués hors site, ils sont transportés sur le chantier avec des porteurs spéciaux sur le dessus des camions. Sur site, il existe des exemples de logistique automatisée [7] qui gèrent le module préfabriqué. Ensuite, les tâches sont divisées en plusieurs phases :

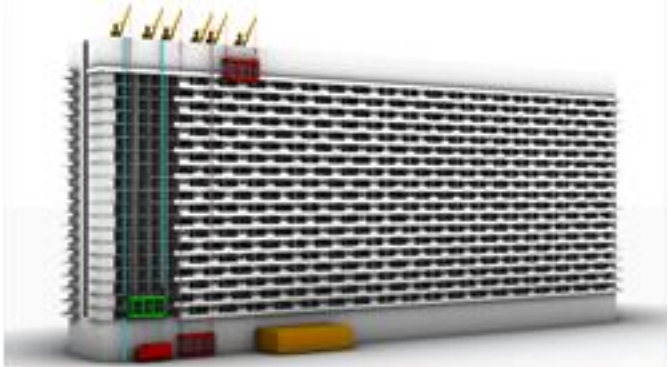
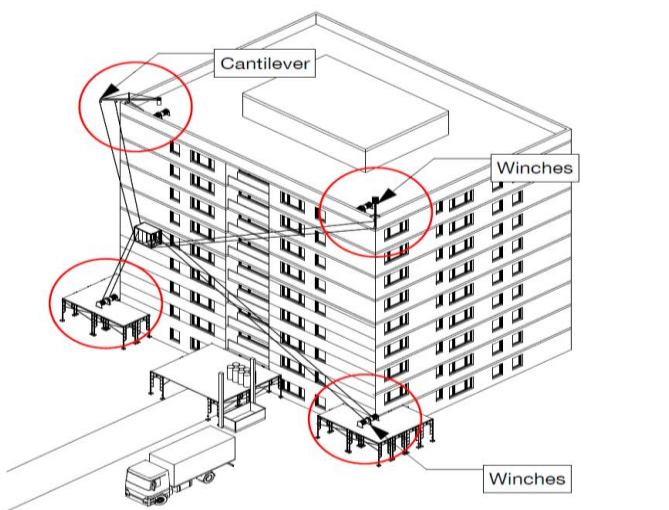
- Installation des modules.
- Maintenance des modules.
- Rénovation.
- Désinstallation et démontage.

Pour accomplir ces tâches, le module préfabriqué et le système d'outillage ou l'effecteur final doivent atteindre l'emplacement requis. Ceux-ci ne peuvent pas être atteints par des robots industriels courants, par conséquent, d'autres corps doivent être utilisés, comme expliqué dans le chapitre suivant.

4.1. Classification des corps robotisés pour le travail en façade

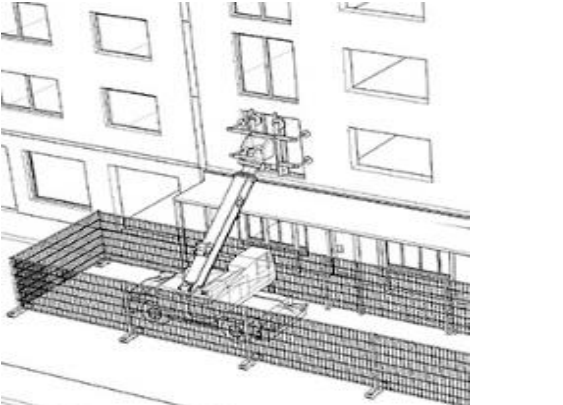
Il s'agit d'une classification des corps robotisés qui peuvent travailler sur les façades. Les corps eux-mêmes ne sont pas nouveaux, ni les tâches qui sont effectuées avec eux. Mais il a été nécessaire de les classer. Par exemple, la Figure 4 montre les systèmes robotisés de nacelles conventionnelles.

Figure 4: Dispositifs d'accrochage basés sur des câbles guidés par des grues de type wagon-tombereau.

<p>Système robotique suspendu</p> <p>Le système d'accrochage est basé sur les "gondoles". Sur la plateforme de la nacelle, des dispositifs robotiques sont insérés comme on peut le voir sur l'image de droite.</p> <p>Image de Matteo Carotta sous la direction des auteurs.</p>	
<p>Robot parallèle commandé par câble.</p> <p>Ces types de robots ne sont pas encore entièrement commercialisés et sont encore en cours de développement.</p> <p>Ce système est en cours de développement dans le cadre du projet Hephaestus [8].</p> <p>Image de Marcel Schlandt sous la direction des auteurs.</p>	

L'utilisation d'une plate-forme externe mobile est une technique courante dans les procédures manuelles.

Figure 5: Plates-formes externes mobiles

<p>Une des premières expériences d'utilisation d'une grue robotisée a été développée à l'Université de Ljubljana pour les façades TRIMO [9]. La précision du système a atteint des écarts inférieurs à 20 mm.</p> <p>Image de Karl Greschner et des auteurs.</p>	
--	--

Il existe des exemples d'utilisation d'un système de rails pour la manutention de la façade, comme le montre le Figure 6.

Figure 6: Systèmes cartésiens sur rails.

Système robotisé de type pont roulant vertical. Ce système est basé sur des systèmes automatisés de stockage et de récupération.

Des experts dans le domaine de la mise au point de tels systèmes de stockage ont indiqué que l'étalonnage de ces dispositifs pourrait prendre du temps.

Image des auteurs.



En plus de l'option présentée dans les tableaux précédents, il y a d'autres corps robotiques qui doivent être pris en compte, comme le montre le Figure 7.

Figure 7: Autres options.

Véhicules aériens sans pilote

Les drones ou drones peuvent être utilisés pour l'assemblage de structures, comme cela a été décrit dans le projet Arcas. [10]

Le placement des connecteurs peut être une tâche développée pour un tel système robotique. La stabilité est nécessaire pendant l'exécution des opérations.

Image d'Alice Cluzeau-Tomatis, Ilaria Giacomini, Florian Hirschel, Leyang Zhang sous la direction des auteurs.



5. Conclusions

Les concepts présentés dans ce document restent encore des défis pour la filière bâtiment. Le cycle de vie des façades préfabriquées avec des systèmes robotisés doit encore être amélioré. Plusieurs sujets ont été traités dans le cadre de deux projets de recherche en cours, BERTIM et Hephaestus, menés au laboratoire BR² TUM:

- Amélioration du flux de travail depuis l'acquisition des données jusqu'au processus de fabrication et d'assemblage. Définition d'un flux précis pour chaque projet en tenant compte de chaque étape.
- Précision dans l'assemblage des produits
- Amélioration de l'assemblage de la variété de produits avec des robots.
- Développement et test d'un corps robotique sur site.
- Placement du connecteur sur son emplacement précis

- Élaboration de stratégies qui facilitent la mise en place du panneau préfabriqué.
- Proposition de solution pour répondre à l'irrégularité de la géométrie de la structure du bâtiment (bâtiments existants). L'adaptation de ces deux géométries et tolérances nécessite des solutions spécifiques.
- Création d'équation valide ou de méthode de faisabilité pour évaluer le rendement technologique.

Le développement et la commercialisation de nouveaux systèmes robotisés pour façades sont pour le moment adaptés à des typologies de bâtiments à géométrie simple. Mais ce domaine est prometteur et demain, il faudra développer différents corps robotisés pour assurer les typologies de façades plus compliquées.

Remerciements



Ce projet a été financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre des conventions de subvention n° 636984 et 732513. Les auteurs remercient M. Marcel Schlandt pour son aide.

Références

- [1] Iturralde, K., Linner, T., Bock, T., Development of a Modular and Integrated Product-Manufacturing-Installation System Kit for the Automation of the Refurbishment Process in the Research Project BERTIM, pp 1081-1089 (2016 Proceedings of the 33rd ISARC, Auburn, AL, USA).
- [2] Bock TA. A study on robot-oriented construction and building system (Doctoral dissertation, 東京大学).
- [3] Gasparri, Eugenia, et al. "Prefabricated CLT façade systems for fast-track construction and quality assurance." proceedings of World Conference on Timber Engineering, Wien, Austria. 2016.
- [4] Iturralde, K., Bock, T., Integrated, Automated and Robotic Process for Building Upgrading with Prefabricated Modules, pp 340-347, 2018, Proceedings of the 35th ISARC, Berlin, Germany.
- [5] Iturralde, K., Linner, T., Bock, T. First Monitoring and Analysis of the Manufacturing and Installation Process of Timber Based 2D Modules for Accomplishing a Future Robotic Building Envelope Upgrading. In Proceedings of ISARC 2017, pages 65–73, Taipei, Taiwan, 2017. <https://doi.org/10.22260/ISARC2017/0009>
- [6] Bock, T., Linner, T., 2016, Site Automation, Cambridge University Press.
- [7] Site Web consulté sur le site Web du 31/01/2019: <http://www.brunkeberg.com/>
- [8] Site Web consulté sur le site Web du 31/01/2019: <http://www.hephaestus-project.eu/>
- [9] Činkelj, J., Kamnik, R., Čepon, P., Mihelj, M. and Munih, M., 2010. Closed-loop control of hydraulic telescopic handler. Automation in Construction, 19(7), pp.954-963.
- [10] Alejo, D., Cobano, J.A., Heredia, G. and Ollero, A., 2014. Collision-free 4D trajectory planning in Unmanned Aerial Vehicles for assembly and structure construction. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 73(1-4), pp.783-795.