



**HAL**  
open science

# La mécatronique dans le processus de conception des outils de construction : La mesure au sein d'un continuum numérique

Thomas Zedin, François Guéna, Olivier Marchand

## ► To cite this version:

Thomas Zedin, François Guéna, Olivier Marchand. La mécatronique dans le processus de conception des outils de construction : La mesure au sein d'un continuum numérique. SCAN'16 Toulouse - Séminaire de Conception Architecturale Numérique - Mètre et paramètre, mesure et démesure du projet, Sep 2016, Toulouse, France. hal-02873801

**HAL Id: hal-02873801**

**<https://hal.science/hal-02873801>**

Submitted on 18 Jun 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.

# **La mécatronique dans le processus de conception des outils de construction :**

## **La mesure au sein d'un continuum numérique**

**Thomas Zedin, François Guéna, Olivier Marchand**

*MAP-MAACC, France*

*Vinci Construction, France*

*Thomas.Zedin@gmail.com, Fguena@paris-lavillette.archi.fr, Olivier.MARCHAND@vinci-construction.fr*

### **RÉSUMÉ.**

*La mécatronique représente une part des technologies numériques et induit la formulation de nouvelles problématiques dans le secteur de l'architecture et de la construction. Nous cherchons ici à lier, processus de conception de systèmes mécatroniques, et processus de conception architecturale. Nous proposons de définir les bases de la conception de ces systèmes, en nous appuyant sur des outils de prototypage rapide. Cette recherche s'intéresse particulièrement à la notion de mesure car elle se retrouve tant en architecture qu'en mécatronique. Cette notion est toutefois soumise à des nuances entre un domaine et l'autre. Nous avons employé l'Architecturologie et ses définitions de la mesure comme outil d'analyse, afin de construire des éléments de convergence entre ces deux domaines au sein du processus de conception.*

**MOTS-CLÉS :** *Mécatronique de conception, mécatronique de construction, Conception architecturale, prototypage rapide, Architecturologie.*

**ABSTRACT.** *Mechatronics is part of digital technology that set up new issues in design and construction. In this study we are looking for bounds between designs in mechatronics and architecture. We intend to define basics for the design process of mechatronics systems, using rapid prototyping tools. Even if its nature differs, the measure concept is an interesting concept since we can find it in architecture as well as mechatronics. We will use Architecturologie to analyze and build connections inside the design process of these two fields.*

*KEYWORDS: Design mechatronics, construction mechatronics, architectural design, rapid prototyping, Architecturologie.*

## **1 Introduction**

La mécatronique pour le secteur de l'architecture et de la construction induit la formulation de nouvelles problématiques. Dans cette étude nous tentons de mettre en relation la conception mécatronique et la conception architecturale en vue d'identifier les caractéristiques distinctives de la conception de systèmes mécatroniques. Nous nous basons sur la notion de mesure car elle se retrouve tant en architecture qu'en mécatronique. Comment peut-on lier la notion de mesure aux deux processus de conception ?

Pour répondre à ce questionnement nous présenterons en premier lieu les diverses descriptions et définitions de la mécatronique, et notamment la constitution des termes « mécatronique de conception » et « mécatronique de construction ».

Dans un second temps nous présenterons l'usage possible du prototypage rapide pour concevoir des systèmes mécatroniques. Puis, pour valider cette approche, nous présenterons une démarche expérimentale employant des outils de prototypage rapide dans la conception de systèmes mécatroniques appliqués à la construction. Nous expliquerons comment nous avons pu produire une démarche de conception centrée sur la mesure.

Pour comprendre la notion de « mesure » en conception mécatronique, nous nous appuyerons sur l'Architecturologie. Nous découvrirons comment la mesure peut créer un lien entre la production architecturale et les outils mécatroniques.

## **2 Mécatronique notions et définitions**

### **2.1 Les fondamentaux de la mécatronique**

Si le terme mécatronique se rapproche des notions de robotiques, une distinction est nécessaire pour approfondir tous ses aspects. Une re-

cherche sommaire nous indique que par définition<sup>1</sup> la mécatronique est liée à la notion de conception. Elle est décrite selon les cas comme une démarche ou une technique industrielle. La mécatronique est aussi définie par les éléments qui la composent : l'électronique, l'informatique, la mécanique et l'automatique.

Nous devons faire attention à l'usage de ce terme, qui peut faire référence à la fois à la démarche de conception, à l'outil et au produit. L'« outil mécatronique » faisant référence à l'objet, est à différencier du « système mécatronique » qui le compose. La « Mécatronique de construction », fait référence aux outils intégrant de la mécatronique et employés dans la construction, tandis que la « Mécatronique de conception », fait référence à l'outil employé dans la conception d'un système mécatronique ou d'un produit.

## **2.2 De la notion de prototypage rapide à la définition de la mécatronique de conception**

Le terme « prototypage rapide » désigne des outils et pratiques liés à la conception de produits. Le domaine de la mécatronique y fait souvent référence. Nous nous intéressons ici exclusivement aux outils mécatroniques employés en conception. Nous employons donc la qualification « mécatronique de conception »

Nous retrouvons dans la mécatronique de conception des machines à commande numérique, et des outils de micro-électronique. La fabrication additive, la découpe laser, le fraisage numérique, les plateformes de développement et les microcontrôleurs<sup>2</sup>.

Les microcontrôleurs sont constitués d'une base programmable, fonctionnant comme un ordinateur (inscription, traitement et réécriture de données), disposant d'entrées et de sorties physiques permettant l'adjonction de composants électroniques et électromécaniques. Nous pouvons à l'aide de ces outils concevoir et produire des systèmes mécatroniques tels que définis précédemment.

---

1. « Démarche visant l'intégration en synergie de la mécanique, l'électronique, l'automatique et l'informatique dans la conception et la fabrication d'un produit en vue d'augmenter et/ou d'optimiser sa fonctionnalité » (norme NF E 01-010, 2008).

2. Ce dernier outil est celui employé dans la démarche expérimentale de cette étude

### **3 La mesure dans le processus de conception d'un outil mécatronique de construction.**

Cette partie de l'étude va tenter de décrire puis de produire une démarche de conception d'un outil mécatronique, en s'intéressant à des cas d'applications mettant en avant des mesures distinctives de la construction.

Comme annoncé précédemment, des outils de type microcontrôleur et des éléments de micro-électronique sont employés pour simuler un système mécatronique, potentiellement intégré à des outils de construction. Nous portons ici un intérêt pour la mesure, par une exploration de sa nature au sein d'un système mécatronique, puis son application dans un processus de conception.

#### **3.1 Description et conception des systèmes mécatroniques.**

Nous voulons déterminer ce qui caractérise le processus de conception d'un outil mécatronique appliqué à la construction.

Pour ce faire, nous observons la pratique de conception en mécatronique de construction à partir des modes de représentation et de description liés à ce domaine.

Dans son ouvrage sur la conception de la construction et la robotique<sup>3</sup>, Thomas Bock nous présente quatre éléments<sup>4</sup> de référence, que nous retrouverons dans notre cadre expérimental. La « cinématique robotique », qui permet de modéliser le comportement de notre système mécatronique (afin de prévoir ses actions et le contrôler). Les « actionneurs » qui vont produire le mouvement sur les éléments mécaniques du système mécatronique (moteurs et pistons hydrauliques ou pneumatiques). Les « capteurs et opérations de mesure », qui vont servir à prendre une mesure de l'outil ou de son environnement. Les « manipulateurs » qui trouvent leur importance dans le cas spécifique de la robotique industrielle.

Pour compléter cette recherche nous avons réalisé une synthèse des représentations concernant la constitution d'outils mécatroniques de construction, sur la base de publications (IAARC, 1998).

Nous y repérons des modes de représentations divers, figurant l'outil, mais aussi le système. Des dimensions mécaniques se référant à l'ouvrage

---

3. Dans le chapitre *Introduction of relevant term concept and technology*. (Bock, 2015).

4. Synthèse des quatre sous sections suivantes: Robot Kinematics; Actuators; Sensor and process measuring technology; End-effector. (Bock, 2015).

à réaliser, des cycles de calculs intégrant la gestion des éléments et notamment de la mesure, ou encore schémas d'organisation du traitement des données.

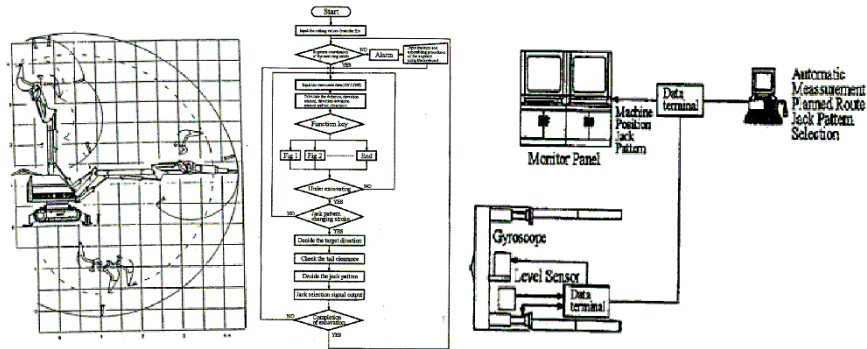


Figure 1 Exemples de modes de représentations en mécatroniques de construction (IAARC, 1998, p4 ; p63)

Nous comprenons ainsi la nature de la mesure répartie entre la part physique et informatique du système, les dimensions de l'outil, et le jeu entre les données récupérées par les capteurs puis leur interprétation. Ces éléments sont utilisés comme référence au cours du processus de conception du système mécatronique.

### 3.2 Conception de deux projets de robotique de construction grâce à l'emploi de la mécatronique de conception

Pour valider nos premières interprétations sur la conception d'outils et systèmes mécatroniques, nous proposons de les appliquer. Nous reprenons deux cas de réalisation d'ouvrages courants dans la construction dont les mesures imposées au constructeur sont directement liées au projet architectural.

La réalisation des éléments de gros œuvre dans un bâtiment emploie aujourd'hui des outils mécaniques distinctifs tels que les banches, les étais, les poutrelles et les panneaux de coffrage.

Le premier projet concerne les coffrages de voiles. Ils peuvent être réalisés grâce à des outils modulaires tels que les banches. Ces outils sont mis en place et réglés avec des étais et contrôlés par un système de mesure de l'aplomb. Nous prenons cette mesure et cet outil mécanique

comme base de conception de notre prototype. Notons que cette mesure d'inclinaison va impacter directement l'ouvrage réalisé.

Le deuxième projet concerne les coffrages de planchers. Ils sont réalisés la plupart du temps grâce à un complexe de poutrelles et panneaux de coffrage, reprenant la forme voulue en partie basse de l'élément à couler. Ces outils sont mis en place et réglés avec des étais et contrôlés par un système de mesure du niveau (exemple lasers). Nous prenons cette mesure et cet outil mécanique comme base de conception de ce deuxième prototype.

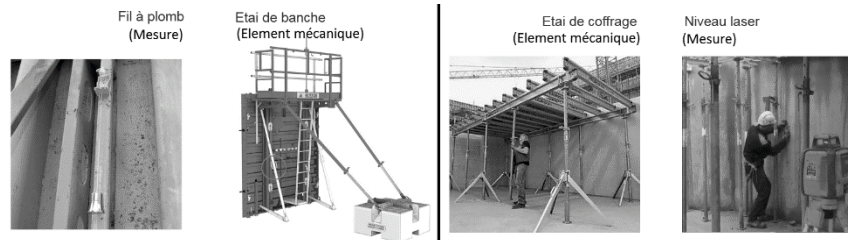


Figure 2 Présentation des cas d'études par les mesures et mécaniques impliquées

### Systeme pour coffrage de voiles

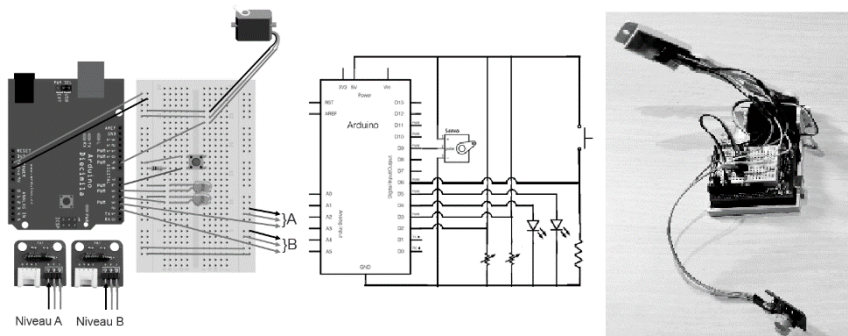


Figure 3 Description du matériel et du montage

Nous avons composé ce système mécatronique à partir des éléments suivants : Un moteur simulant le mouvement imposé par l'étau sur la banche ; Deux capteurs d'inclinaisons traitant chacun de l'inclinaison de 0 à 90 degrés et de 90 à 180 degrés. (Leur signal est binaire, ils ne donnent donc comme information que le dépassement de l'angle de 90 degrés

à plus ou moins 2 degrés près) ; Une interface homme machine disposant d'un bouton pour déclencher la séquence de mise à l'aplomb, et de LEDs informant de l'orientation.

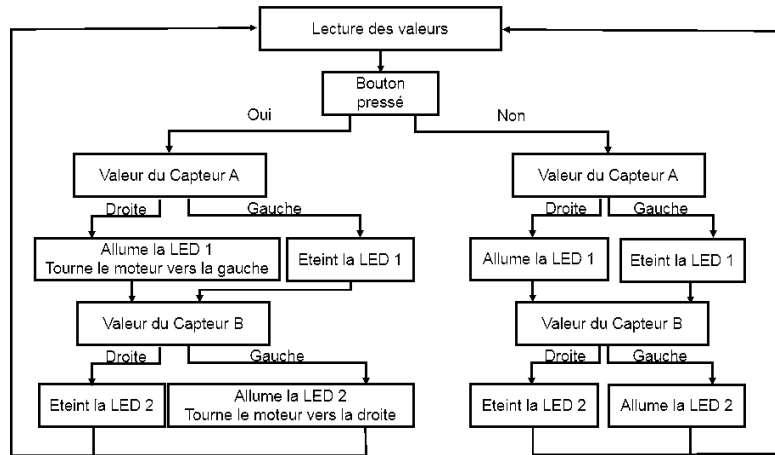


Figure 4 Algorithme de fonctionnement de l'outil

La figure 4 décrit le programme que nous avons inscrit dans le micro-contrôleur. Une boucle en lecture permanente traite les valeurs transmises par les capteurs et boutons, puis agit sur la position des composants mécaniques ainsi que sur l'allumage des LEDs.

**Systeme pour coffrage de planchers :**

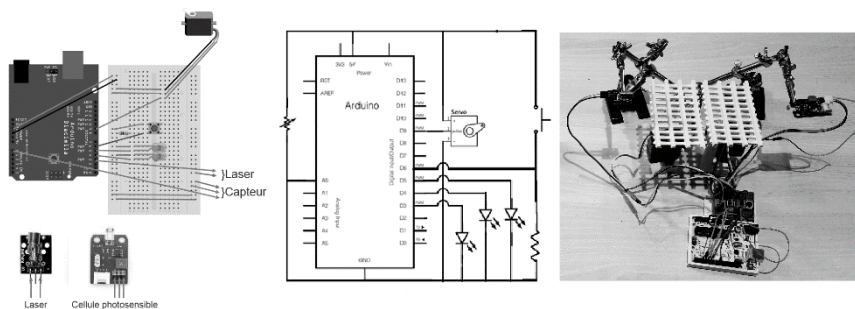


Figure 5 Description du matériel et du montage.



Nous avons composé ce deuxième système : Un moteur simulant le mouvement imposé par l'étai sur le coffrage de plancher ; Un laser créant une limite simulant le niveau attendu, associé à un capteur de type photoélectrique permettant de repérer le signal du laser ; Une interface homme machine similaire au premier prototype, disposant d'un bouton pour déclencher la séquence de mise à niveau, et de LEDs informant de la détection du signal laser ou non.

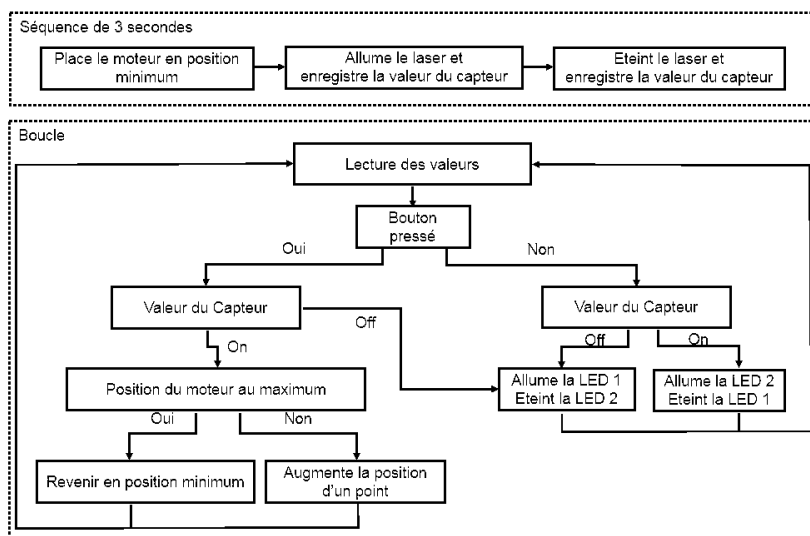


Figure 6 Algorithme de fonctionnement de l'outil

La figure 6 décrit le programme que nous avons inscrit dans le micro-contrôleur. Nous retrouvons le même schéma que dans le projet précédent complété par une partie préalable du programme procédant à une calibration des valeurs du capteur afin de pallier aux changements de conditions.

#### 4 Analyse de la mesure dans le processus de conception d'un outil mécatronique appliqué à l'architecture

Afin d'analyser cette approche du processus de la conception d'outils et de systèmes mécatroniques, nous nous sommes intéressés à la notion de mesure dans le cadre de la conception architecturale. Nous repérons les liens, directs ou par analogie, entre la conception d'un outil mécatronique appliqué à la construction et le projet architectural. Nous nous

sommes appuyés sur la récurrence de la notion de mesure en architecture et en mécatronique. Nous employons l'Architecturologie car elle se situe à l'intermédiaire des sciences cognitives et des sciences de la conception, et a pour objet de recherche, la conception architecturale<sup>5</sup>.

L'Architecturologie dont l'objet est de « comprendre comment l'architecte donne des mesures à l'objet architectural », développe trois concepts pour exprimer la nature de la mesure dans la conception architecturale. « Proportions et échelles comme modes de mesures », ou « l'idée de mesure repose sur la comparaison ». « Elasticité et précision de la mesure » qui part du principe que « lors du travail de conception, l'objet n'existe pas encore [...] il est virtuel », « cette virtualité [...] permet d'envisager un ordre de grandeur de la mesure ». « Forme et mesure » « Ce mot de mesure [...] doit en effet inclure l'idée que la mesure peut être donnée par la forme. » (Boudon, 1998).

La notion de mesure dans la conception des outils et des systèmes mécatroniques peut être confrontée à ces définitions. Dans les deux projets décrits précédemment. Le programme inscrit dans le microcontrôleur va gérer les divers composants et servir à traduire d'une part les mesures données en entrée (celles du ou des capteurs), ainsi que les éléments de contrôle de l'interface homme-machine. Puis d'autre part, à réaliser les actions en sortie telles que la position du moteur et l'activation des éléments d'affichage.

La constitution de notre système mécatronique nous donne un premier schéma reprenant la notion de mesure. Cette présentation linéaire est incomplète car elle ne rend compte que du résultat espéré. Nous nous penchons donc aussi sur la mesure dans la constitution du programme informatique pour obtenir le schéma suivant :

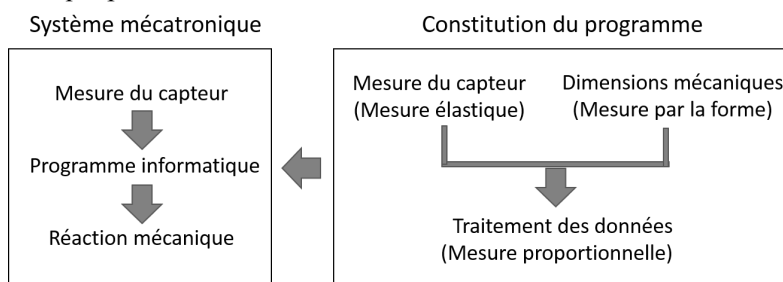


Figure 7 Synthèse sur la mesure entre système et programme informatique d'un outil mécatronique appliqué à la construction.

5. Pour définir l'Architecturologie, il faut se pencher sur les ouvrages de P. Boudon et du LAREA.

## 5 Conclusion vers un processus de conception commun

Dans cette étude nous proposons un cadre possible pour la conception d'outils et de systèmes mécatroniques liés à l'architecture et la construction. En observant la pratique dans la conception d'outil mécatroniques de construction dans la littérature, nous avons précisé les éléments fondamentaux de la mécatronique, et les particularités liées à la construction.

Nos hypothèses de la place de la mesure, et de son exploitation en conception, ont été validées lors de la réalisation de projets impliquant des microcontrôleurs pour la conception de systèmes mécatroniques en vue d'applications pour la construction. Nous avons pu lier conception architecturale et conception de systèmes mécatroniques par le repérage de la mesure et la définition de sa nature.

Dans notre cas de conception ce qui mesure est le projet architectural et ce qui est mesuré était l'effet mécanique. Nous pourrions étendre cette conception au projet architectural en liant conception du système et conception de l'espace produit. L'Architecturologie offre des outils de spécification du processus de conception architecturale que nous pourrions déployés pour réaliser un modèle commun de conception.

## 6 Bibliographie

- Publications Committee International Association of Automation and Robotics in Construction. (1998). *Robots and Automated Machines in Construction*.
- Bock, T. Linner, T. (2015). *Robot-oriented design: Design and management tools for the deployment of automation and robotics in construction*. Cambridge university press.
- Boudon, P. Deshayes, P. Pousin, F. Shatz, F. (1994 réédition septembre 2001). *Enseigner la conception architecturale*. Editions de la Villette.
- Boudon, P. (1992). *Introduction à l'Architecturologie*. Dunod.
- Boudon, P. (2002). *Conception*.
- Ben Rajeb, S. (2007). *Modélisation de la collaboration distante dans les pratiques de conception architecturales*.
- Zedin, T. (2013). *La mécatronique de construction et la conception architecturale*. Mémoire de master.