



**HAL**  
open science

# La disparition de l'architecte : la conception architecturale au prisme des nouvelles technologies et de l'époque contemporaine

Hugo Lebrunet

## ► To cite this version:

Hugo Lebrunet. La disparition de l'architecte : la conception architecturale au prisme des nouvelles technologies et de l'époque contemporaine. Architecture, aménagement de l'espace. 2018. dumas-01784505

HAL Id: dumas-01784505

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01784505>

Submitted on 3 May 2018

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

# LA DISPARITION DE L'ARCHITECTE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

# LA DISPARITION DE L'ARCHITECTE

La conception architecturale au  
prisme des nouvelles technologies  
et de l'époque contemporaine

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

**HUGO LEBRUNET**

Mémoire de Master

Séminaire : Cultures de l'architecture contemporaine  
sous la direction de Mme Marie-Paule Halgand

ensa Nantes - Janvier 2018

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

# REMERCIEMENTS

à **Marie-Paule Halgand**, pour sa tolérance et sa patience.

au **Royaume du Danemark**, pour ne pas m'avoir mis à la porte lorsque je commençais à travailler sur ce mémoire.

à **David et Romain**, pour leur présence revigorante.

à **Mon père**, pour sa relecture et ses judicieux conseils.

à **Sara**, pour toutes nos discussions.

à **Deezer** enfin, infatigable pourvoyeur de calme et de sérénité, compagnon indéfectible de charrette.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>10</b>
---------------------	-----------

<b>ARCHITECTURE PROGRAMMÉE</b>	<b>12</b>
--------------------------------	-----------

<b>PARTIE 1 - LA CONCEPTION ET LA COMMUNICATION ARCHITECTURALE À L'ÈRE NUMÉRIQUE</b>	<b>17</b>
--	-----------

1) La technologie dans le milieu architectural étudiant: l'évidence de sa nécessité, et ses dérives.	18
Premiers pas numériques	18
Posture critique et résilience numérique	23
2) Le corps et l'esprit face à la technologie.	28
Interfaces et logiciels	29
Le syndrome de l'orbite	32
La réalité virtuelle, concevoir à échelle 1:1.	34
3) L'oeil à satiété	40
La technique du rendu photo-réaliste	42
L'hégémonie de l'oeil et les paradoxes du réalisme	45
La course à l'image des concours d'architecture	51
4) Vers quelle CAO?	56
Le BIM et la perte de contrôle	59
Le design paramétrique, processus informels	66
L'architecture et l'Open-Source	81

<b>PARTIE 2 - FABRICATION DIGITALE</b>	<b>93</b>
--	-----------

Introduction	94
1) La fabrication digitale dans l'enseignement	102
L'apprentissage par le «faire»	103

Les écoles européennes et le retard français	105
2) L'Impression 3D	111
Construire l'impossible	113
Vers une véritable alternative constructive à grande échelle	114
3) Robotique: l'invention d'une nouvelle tectonique	122
Ouvriers versatiles	125
Flight-assembled architecture, défier la grande échelle	128
Vers un artisanat numérique?	130
<b>MAÎTRE D'OEUVRE DU CONTINUUM NUMÉRIQUE</b>	<b>134</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>138</b>

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

# INTRODUCTION

« La disparition de l'architecte » est une formule provocatrice qui induit d'emblée de jeu plusieurs éléments de questionnement auxquels je ne pourrai pas répondre. Elle implique de définir ce qu'est un architecte précisément aujourd'hui, de prouver que la forme sous laquelle il se manifeste est en train de disparaître et de comprendre les causes de cette disparition. Le premier élément de réponse est qu'il n'y a déjà pas « un » architecte, mais une multitude potentiellement infinie d'entre eux, une foultitude de méthodes et visions, l'architecte unique n'existe pas, et n'a certainement jamais existé. Ensuite, l'architecte ne disparaîtra certainement pas mais son rôle et ses méthodes sont amenés à connaître de profondes mutations, notamment et en partie au regard de l'intégration croissante des outils numériques aux processus de conception architectural.

**L'objectif principal de mon questionnement est de sonder le rapport que nous entretenons avec les technologies qui épaulent nos méthodes de travail dans les diverses phases de la fabrication d'un projet d'architecture et de s'intéresser à la manière dont elles transforment et structurent de nouvelles pratiques, et nous amènent à penser et concevoir l'architecture différemment.**

Je regarderai ces technologies sous deux angles, deux prises de vue différentes pour secouer et retourner la question de manière tout à fait manichéenne : d'une part la technologie avec toute sa potentialité de gain de puissance, d'élargissement du possible et de vecteur créatif ; la technologie comme lien tissant, formant, réagissant, interactif et potentiel, et d'autre part un danger latent, son versant dégénératif. Un danger au sens où le risque est bien présent de voir la technologie prendre le pas sur le libre-arbitre du concepteur, d'éroder et d'émousser les sens, de cantonner et d'enfermer l'esprit, par l'écran, par les interfaces et plus généralement par l'affaiblissement du lien entre l'homme et la machine. C'est cette question de la force du lien homme-machine



qui, sans devenir l'objet de ce mémoire, constitue l'épine dorsale de mon questionnement. C'est cet angle d'attaque qui me pousse à remettre aujourd'hui en cause mon apprentissage et la manière dont j'ai appris à me servir des outils dont je dispose. Comment concevons-nous, avec quels outils et comment ne pas les subir mais bien les maîtriser ?

L'ensemble des technologies ou méthodes que je présenterai pourraient chacune d'entre-elles faire l'objet unique d'autres mémoires. En revanche ce qui nous intéresse ici n'est pas de décrire de manière parfaitement complète cette myriade de techniques, mais bien de saisir en quoi elles impactent globalement les pratiques de l'architecte contemporain. Plutôt que d'analyser en profondeur chacune des facettes numériques du métier d'architectes, il s'agira dans ce mémoire de dépendre un tableau général du futur-présent de notre profession, afin d'y déceler ce qui peut nous rendre plus forts, et ce qui risque de nous affaiblir.

Car si nous pouvons affirmer que les ordinateurs nous ont permis de fluidifier certains aspects de la conception architecturale, l'écran devant lequel nous passons le plus clair de notre temps soulève aujourd'hui des questions relatives à la façon même dont nous percevons et concevons l'architecture. La vitesse d'exécution semble parfois entraîner un engourdissement de nos capacités de création, s'il n'y a pas au préalable à leur utilisation, un apprentissage et une posture critique. L'ordinateur est devenu un entonnoir engloutissant progressivement chacune des compétences et outils des architectes et ce seul fait doit nous mettre en garde face au danger potentiel que cette convergence représente. A mettre tous ses œufs dans le même panier, l'architecte risque de se fermer à d'autres méthodes pour imaginer, concevoir et construire tandis que celles durement acquises risquent l'érosion.

# ARCHITECTURE PROGRAMMÉE

Notre génération a tendance à oublier que les nouvelles technologies ont connu un bond extraordinaire au moment où nous même grandissons, et que l'avènement des logiciels de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) est un évènement finalement très récent dans l'histoire de l'architecture. La DAO est englobée dans la plus grande catégorie de la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) qui regroupe l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique requérant l'usage d'un ordinateur et de ses capacités de calcul ou de computation.

Les premières tentatives d'introduction de l'informatique en architecture remontent aux années 60, avec Cedric Price et Gordon Pask qui avaient alors utilisé de nouveaux outils informatiques pour concevoir leurs projets. En 1963, Ivan Sutherland alors doctorant au MIT, écrit pour sa thèse de Doctorat le programme informatique «Draftsman», plus connu sous le nom de « Sketchpad ». C'est la première interface graphique de DAO que l'on connaisse et qui permettait, au travers d'un moniteur et d'un crayon optique, de dessiner et d'apporter des modifications sur des objets instanciés. L'idée du programme était d'avoir un dessin principal qui puisse s'instancier en plusieurs répliques. Si l'utilisateur modifiait le dessin principal à l'aide de son crayon-optique, toutes les instances changeaient également. Ce programme est en quelque sorte le précurseur des logiciels BIM, dans lesquels les dessins sont instanciés sur de nombreux niveaux. Non content d'ouvrir la porte de la CAO aux architectes et celle des interfaces Homme-Machine, le programme préfigure avec une avance déconcertante ce que certains logiciels permettent aujourd'hui de faire dans le domaine de la conception assistée par ordinateur.

Mais c'est seulement dans les années 90 que les architectes commencent à remettre sérieusement en cause les moyens par lesquels ils conçoivent l'architecture. Le « paperless studio » était l'objet d'une expérience didactique menée vers le milieu des



fig.1 Ivan Sutherland et le sketchpad, 1963

années 1990 à la Graduate School of Architecture, Planning and Preservation de Columbia University. Alors considérés comme des manifestations marginales, les studios d'architecture « sans papier » voient progressivement le jour dans les universités américaines et vont se populariser très rapidement. Nous comprenons seulement aujourd'hui la portée et la lucidité de ces expériences, à une époque où plus une seule agence n'est en mesure de se passer des outils de conception assistés par ordinateur. A la différence près que l'appellation « paperless » n'est peut-être pas la plus à même de décrire les agences d'architecture contemporaines, car paradoxalement, nous n'avons peut-être jamais utilisé autant de papier que depuis l'invention des outils de DAO et de l'imprimante.

Alors que l'évolution du numérique en architecture a été fulgurante ces 30 dernières années, certains tentent de nous alerter sur cette vitesse de développement exponentielle. Le numérique n'est plus le domaine opaque qu'il était à ses débuts, il a une consistance et des effets bien réels sur notre monde. C'est notamment le point de départ d'un ouvrage dirigé par Greg Lynn et intitulé « Archéologie du Numérique ».<sup>1</sup> L'auteur plaide pour que nous commençons dès à présent à écrire l'histoire du numérique, car ses évolutions sont aujourd'hui tellement rapides et majeures qu'il existe un risque de perdre une somme de données gigantesque, en partie

---

1 LYNN Greg, et al. Archéologie du numérique, Sternberg Press et Centre Canadien d'Architecture, 2013, 408 p.

à cause de cette même évolution des systèmes informatisés. Les données informatiques que Frank Gehry avait par exemple utilisé pour construire le Guggenheim de Bilbao sont des reliques aujourd'hui difficilement lisibles tant les interfaces et programmes utilisés étaient spécifiques et différents de ceux que nous utilisons aujourd'hui.

A la manière de Greg Lynn, il est temps de s'arrêter un instant sur l'évolution des outils informatiques pour tenter de mieux cerner les enjeux qu'ils véhiculent, tant pour les architectes que pour les étudiants.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



fig.2 Simulation à l'aide de la réalité virtuelle

# **PARTIE 1 - LA CONCEPTION ET LA COMMUNICATION ARCHITECTURALE À L'ÈRE NUMÉRIQUE**

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

“J’essaie de me demander pour chaque technologie que j’utilise en quoi elle accroît ma puissance personnelle, de pensée, d’émotion, de liberté, et en quoi elle me mutile. Cette question, il faut vraiment l’avoir pour soi et collectivement.”

Alain Damasio

## **1) La technologie dans le milieu architectural étudiant: l'évidence de sa nécessité, et ses dérives.**

Il semble judicieux d'introduire cette section par la porte du monde étudiant, en raison de la prépondérance des outils de conception informatisés faisant désormais partie intégrante de la formation d'un architecte et ayant irrémédiablement bousculé et transformé les méthodes de conception architecturale. Il apparaît tout à fait improbable d'imaginer aujourd'hui qu'un étudiant en architecture ait la moindre chance de décrocher un travail à la sortie de ses études s'il n'a pas à sa disposition un certain nombre de logiciels lui permettant de mener à bien le travail de l'architecte contemporain. Et c'est le chemin qui mène à cette maîtrise que nous tenterons de détailler.

### **Premiers pas numériques**

La technologie dans le monde des études architecturale s'apparente à un monstre disparate et tentaculaire ayant absorbé la moindre



parcelle exploitable du champ de l'architecture et que nous devons à tout prix dompter si nous voulons avoir une chance d'intégrer le marché du travail. Plus aucune phase, plus aucune méthode ne semble pouvoir échapper à l'inexorable progression des outils numériques, et son impact sur le monde des études d'architecture est indéniable.

Pour avoir pu observer les conséquences de cet apprentissage dans le monde du travail et dans différents pays, je peux affirmer avec une relative certitude que peu de personnes, et pour beaucoup d'agences, ne maîtrisent mieux les logiciels et les technologies liés de près à l'architecture que les étudiants fraîchement sortis de l'école. L'évolution des technologies et des logiciels est si rapide qu'après un cycle d'étude complet, soit environ 5 ans, le parc logiciel en architecture est complètement renouvelé. Soit avec des versions plus récentes d'un même logiciel, soit avec de nouveaux venus. Alors étudiants en architecture, nous sommes dès le départ confrontés à l'usage de ces technologies, et passeront ces 5 années à enrichir notre éventail de logiciels en nous dotant au passage des plus récentes versions. En ce qui concerne l'embauche cela représente un avantage considérable, si nous ne parlons pas déjà de prérequis indispensables. Car la compétition fait rage à la porte des agences d'architecture, et la maîtrise des logiciels importe souvent plus à l'employeur qu'une maîtrise parfaite des méthodes de conception architecturale. Peut-être est-il préférable pour certains architectes de disposer d'un employé apte à exécuter les tâches qu'on lui commande, plutôt que d'un individu autonome et apte à remettre en cause les fondements d'un projet ?

Toujours est-il que la technologie et les nouveaux outils de conception numérique font tour à tour leur entrée dans nos écoles en si peu de temps que leur incorporation aux pédagogies et leur utilisation peuvent parfois sembler erratiques et échapper à une méthode d'apprentissage claire. En outre il incombe au corps

enseignant de s'assurer que les bases de cet apprentissage sont suffisamment solides pour nous permettre d'aborder chacune de ces nouvelles technologies de manière critique. Car malgré le fait que l'apprentissage de la conception architecturale commence toujours encore par les rudiments du dessin à la main, que l'on parle de croquis ou de géométraux, la découverte des outils de conception numérique a tôt fait d'éclipser ses bienfaits, alors même que ses bases n'étaient pas suffisamment étayées. Tout semble alors si facile et rapide avec un ordinateur, et si laborieux et lent à la main. Ce n'est évidemment pas qu'une question de vitesse et d'aisance, mais c'est en partie sur ce biais que se fonde nos premières impressions, et que nous abandonnons, souvent trop tôt, la pratique du dessin manuel. Pourtant, la facilité apparente de ces outils n'est qu'une illusion.

**« Alors que l'automatisation permet aux architectes de générer des modèles 3D précis, apparemment finis et ce très rapidement, cette vitesse et cette exactitude de la machine peuvent couper court au désordonné et laborieux processus d'exploration qui peut donner jour aux designs les plus inspirés et sensés. Le charme du travail tel qu'il apparaît à l'écran peut être une illusion. »<sup>2</sup>**

L'aspect séduisant de la liberté d'action que certains logiciels semblent être en mesure d'offrir nous amène à les utiliser pour d'autres phases que pour celles pour lesquelles ils se révèlent véritablement efficaces et pour lesquelles ils ont été initialement conçus. Lorsqu'un architecte aguerri maîtrise à la fois le dessin manuel et informatisé dans des phases avancées, ce qui en

---

2 CARR Nicholas, *The Glass Cage: How our computers are changing us*, W. W. Norton & Company, New-York, 2015, p 140

passant n'est plus le cas de notre génération, il expliquera rarement le choix d'un logiciel en raison de la vitesse d'exécution du dessin. à compétences égales, dessiner à l'ordinateur ne permet pas forcément de dessiner plus vite. L'intérêt majeur de la CAO, lorsqu'on la compare au dessin manuel, est la possibilité d'apporter des modifications aux dessins rapidement et efficacement. Avec les derniers logiciels de BIM par exemple (nous le développerons dans une partie ultérieure), une modification sur la maquette numérique peut être répercutée à l'ensemble des équipes travaillant en collaboration sur cette dernière. La panacée pour tous ces professionnels, puisqu'on estime qu'un plan fourni par un architecte à la fin par exemple de la phase APD, est redessiné environ 15 fois avant de pouvoir passer à la phase d'exécution, cela en incluant les différents acteurs du projet comme les bureaux d'études mais également les retours à l'architecte lui-même.

Après un certain temps à l'école et pour beaucoup d'entre nous, la vitesse d'exécution est devenue épuisante. Certains logiciels érodent inlassablement notre libre arbitre, l'écran d'ordinateur nous assomme de sa lumière bleue, tant et si bien que le recours au dessin manuel devenu trop rare, le contact du crayon dans la main et son action sur le papier se révèle être un acte profondément apaisant et libérateur.

Face à ce constat, il n'est pas étonnant de rencontrer une certaine appréhension de la part de nos enseignants quant à une utilisation précoce et intensive des outils numériques. Sans méthode d'apprentissage étayée, cette attitude conduit parfois à rejeter sans discernement l'utilisation des outils numériques sous-prétexte qu'ils seraient naturellement néfastes au processus de conception architectural. Pour appuyer cette vision, Juhani Pallasmaa préconise de rejeter les outils numériques en premier lieu, afin d'avoir la capacité de les assimiler correctement par la suite.

**« [...] j'ai défendu l'idée que tous les étudiants des écoles de design et d'architecture devraient d'abord apprendre à travailler de leurs mains et à utiliser leurs images mentales avant de pouvoir se servir de l'ordinateur. Si l'étudiant sait utiliser son imagination et intérioriser physiquement son travail de conception, l'ordinateur ne pourra pas lui faire beaucoup de mal. »<sup>3</sup>**

Mais une posture trop rigide et immobiliste ne durera qu'un temps, avant que ne soit lâchée dans les mains des étudiants toute la puissance de la computation et des logiciels d'architecture. On ne peut pas se contenter d'un refus pur et simple, de même qu'on ne peut pas exiger des étudiants de produire des pièces graphiques à la main sans leur donner une raison de le faire, alors qu'Autocad est à portée de main sur leur ordinateur. Quelle serait dès lors la durée nécessaire à chaque étudiant ? Il faut à mon sens nuancer les propos de Juhani Pallasmaa et nous concentrer sur la manière dont nous introduisons les outils de conception numérique plutôt que le moment. Il faut bien comprendre que ce ne sont pas les logiciels d'architecture et leur manque de neutralité qui sont en cause, mais bien la manière dont nous les employons et apprenons à nous en servir.

Qu'il s'agisse d'Autocad, Rhino, 3Ds max ou de Photoshop, nous devons adopter une posture critique, quelle qu'elle soit, mais nous devons absolument prendre position concernant ces outils et ne pas les laisser passer sans contrôle. Une fois que la porte du numérique est ouverte nous devons mettre en place au cœur de l'enseignement architectural, un enseignement étendu et globalisé de la culture numérique.

## Posture critique et résilience numérique

Il ne s'agit pas fondamentalement du type de technologie que nous sommes amenés à utiliser, ni du moment auquel nous y sommes confrontés qui importe. Ce qui manque trop souvent au moment où l'on place l'outil numérique dans les mains de l'étudiant néophyte, c'est l'apprentissage d'une posture critique, une introduction au « pourquoi » et aux dérives potentielles des outils que nous apprenons à utiliser. Car tout l'enjeu est bien là. Si les outils numériques font miroiter aux étudiants des possibilités infinies, c'est seulement par la maîtrise des fondements architecturaux que ces outils pourront alors s'ouvrir à eux et qu'ils pourront utiliser leur potentiel. Ce constat pourrait s'apparenter à une épouvantable banalité, mais nous sous-estimons bien souvent la force avec laquelle nous sommes reliés au numérique et à quel point il peut nous être difficile de l'écarter. L'enseignement architectural doit être en mesure de faire comprendre aux étudiants que ces outils ne sont pas néfastes, si tant est qu'ils soient capables de les écarter, notamment au cours des phases de conception préliminaires. Nous pouvons donner tous les logiciels du monde aux étudiants, mais devons leur donner un crayon et du papier pour commencer, sans pour autant les forcer à ne pas utiliser leurs ordinateurs. Apprendre à jongler d'un outil à l'autre permet aussi de mieux sentir les limites de chaque outil, d'autant que la profusion de logiciels nous permet en outre de ne pas nous enfermer dans une méthode de pensée unique, façonnée à sa façon par l'éditeur d'un logiciel.

Dans un cadre plus général, tant sur les technologies que les générations concernées, on nous met pourtant en garde sur l'introduction des nouvelles technologies dans l'enseignement:

**« Les instances de transmission culturelle que sont l'école et les équipements culturels sont donc confrontées à des**

**bouleversements affectant les fondements de leur action : conception du temps, des objets culturels, du lien entre savoir et culture et de ses médiateurs. Elles sont appelées à revisiter leur modèle de médiation pour l'adapter aux jeunes générations, afin de favoriser l'émergence d'une culture de demain et pour permettre la transmission d'un patrimoine culturel, lui-même en voie de redéfinition [...] Ceci incite à une véritable réflexion pédagogique sur les modes de transmission, qui ne se réduise pas à l'insertion de technologies mais englobe une réflexion sur les apprentissages. »<sup>4</sup>**

Bien que l'article dont est tiré cet extrait traite plutôt de l'ensemble de la génération que nous appelons aujourd'hui les « Digital Natives », c'est cette question d'une réflexion sur les apprentissages qui fait défaut, que l'on ait 10 ou 20 ans et quel que soit le domaine d'étude. Nous devons reconnaître explicitement que même si l'insertion évoquée des technologies et plus particulièrement des logiciels d'architecture est parfois le fait d'un enseignement spécifique, il n'en est pas de même pour tous les logiciels auxquels nous pouvons être confrontés. Qu'ils soient introduits à l'école ou qu'ils découlent naturellement d'un usage collectif nous devons nécessairement prolonger l'enseignement des logiciels de manière autodidacte, et par la force des choses, avec des versions piratées. Voilà une réalité bien inavouable pour l'enseignement architectural en France (et partout ailleurs), la majeure partie du savoir qui englobe les logiciels que nous utilisons au cours de nos études nous a essentiellement été inculqué par nous-mêmes et de façon illégale (L'illégalité du phénomène n'est finalement pas très importante, puisque nous

---

4. OCTOBRE Sylvie. (2009), « Pratiques culturelles chez les jeunes et institutions de transmission : un choc de cultures », in Culture et Prospective [En ligne], Disponible sur : <http://www2.culture.gouv.fr/culture/deps/2008/pdf/Cprospective09-1.pdf> [Consulté le 13 Octobre 2017]

finirons par payer une licence quoi qu'il arrive lorsque nous serons architectes). Les cours qui nous sont dispensés nous permettent certes de forger des bases solides sur l'emploi de certains de ces logiciels mais leur profusion et leur diversité empêche littéralement l'enseignement de balayer la totalité des logiciels tournés vers le champ de l'architecture. Nous devons pourtant jeter le problème sous le tapis afin de pouvoir avancer, en espérant que les étudiants se débrouillent par eux-mêmes, à la fois pour se fournir, mais aussi et surtout pour apprendre.

Etant donné la situation, il deviendrait alors judicieux d'envisager la mise en place de ressources permettant aux étudiants de continuer leur apprentissage par eux-mêmes, une sorte de base de données didactique, existant dans la continuité de la pédagogie initiale, d'autant plus que le rythme auquel avance chaque étudiant varie énormément de l'un à l'autre et qu'une telle base de données donnerait à chacun les moyens de combler ses lacunes ou d'avancer plus vite. Enfin, une des capacités que nous devrions acquérir, au-delà de la connaissance même des logiciels, est notre aptitude à leur faire face de façon critique, d'être en somme capable de résilience numérique. L'enseignement architectural doit dès à présent former des professionnels capables de s'adapter à tout changement numérique aussi brutal soit-il et ne jamais se laisser piéger par un outil, aussi attrayant qu'il soit.

Etant donné le fait qu'il serait impossible pour nos enseignants de contrôler la totalité de ce que nous apprenons des logiciels de CAO, il semble évident qu'une mise en place préalable d'un apprentissage critique soit nécessaire pour permettre aux étudiants d'aborder chaque nouveau logiciel avec discernement et ainsi leur éviter d'accumuler des compétences qu'ils ne sauront mettre à profit utilement. Un début de réponse pointe tout de même chez certains enseignants et prend généralement la forme d'une mise en garde générale quant aux dérives de l'utilisation de la CAO :

«Méfiez-vous des outils de dessin informatisés, car si vous ne pensez pas à dessiner d'une certaine façon, le logiciel le fera à votre place. » Par extension, on pourrait même modifier la fin de cette phrase par : « le développeur du logiciel le fera à votre place »<sup>5</sup>.

L'apogée de cette mise en garde semble avoir été atteinte avec les technologies du BIM. Ces logiciels sont devenus tellement difficiles à manier, tellement complets mais compliqués, qu'une maîtrise partielle de leurs fonctionnalités sera synonyme d'un écrasement de la liberté de mouvement de l'utilisateur, et d'un étouffement de sa liberté de création. Sans une maîtrise totale, les outils du BIM conduisent à dévitaliser l'instantanéité et la richesse d'une exploration conceptuelle libre et constituent un frein créatif là où la barrière entre la pensée et sa matérialisation sera plus mince avec d'autres logiciels, et bien entendu avec le dessin à la main.

Apprendre à concevoir de manière créative demande d'acquérir une certaine aptitude à laisser place au doute, à l'incertitude et à l'imprécision, qui sont des choses précieuses dans les balbutiements d'un projet architectural, car c'est parfois sous l'aspect de traits brouillons et entremêlés que peut surgir l'inspiration.

**« Je me méfie en particulier de la fausse précision et de l'apparente perfection de l'image numérisée, qui contrastent avec l'imprécision naturelle et l'hésitation intrinsèque du dessin. La main n'arrive à une solution satisfaisante qu'à travers la répétition, les essais et les erreurs, [...] »<sup>6</sup>**

Selon Juhani Pallasmaa, l'outil informatique a permis aux architectes d'accélérer la plupart des étapes de leur travail dans des phases de conception avancées, mais il complique également

---

5 Et en poussant le vice plus loin: «l'entreprise générale qui finance et promeut le développement du logiciel le fera à votre place».

6 PALLASMAA Juhani, La main qui pense, Actes Sud, 2013, Paris, p.91



les premières phases délicates de la conception architecturale, là justement où l'imprécision se révèle être une richesse pour les perceptions sensorielles de l'observateur ou de celui qui dessine.

Il est certainement très difficile d'envisager une méthode unique permettant de prévenir de façon systématique les dérives que nous rencontrerons face à un outil en particulier. Tout cela vaut pour les technologies numériques de conception, et nous aborderons les technologies liées à la fabrication numérique dans la deuxième partie de ce mémoire, qui relèvent de positionnements différents. Néanmoins, et sans aller jusqu'à la formulation d'une méthode d'apprentissage unique, il nous est possible de scruter avec attention ces outils et de pointer avec vigilance la perte de puissance qu'ils peuvent représenter pour nous, pour nos manières de concevoir et d'imaginer, autant que pour la construction sensible de l'architecte.

Nous devons apprendre à pouvoir nous libérer temporairement et pleinement de l'emprise des outils numériques dans le but de reconnecter nos facultés de création à notre environnement sensoriel. Une recherche perpétuelle que Juhani Pallasmaa appelle l'existence incarnée ou encore la pensée sensorielle, prend tout son sens lorsque l'esprit n'est plus déconnecté du corps et du monde extérieur par l'intermédiaire d'une interface, ou que celle-ci n'entrave pas la continuité et l'existence de la pensée à travers l'ensemble du corps.

**« Il est indispensable que l'éducation prenne en compte l'importance du monde sensoriel afin que nous puissions renouer avec la plénitude de notre être physique et mental, utiliser toutes nos facultés et nous rendre moins vulnérables à la manipulation et à l'exploitation. »<sup>7</sup>**

## **2) Le corps et l'esprit face à la technologie.**

Un usage dévoyé et excessif des outils numériques a parfois pour conséquence d'éloigner le concepteur de ses capacités de création, et de son aptitude à intérioriser physiquement le travail créatif. L'origine de tous ces maux peut en partie provenir de l'inadaptabilité des interfaces auxquelles nous sommes confrontés ainsi que de la rigidité des programmes que nous utilisons. Comment se fait-il que la puissance des logiciels progresse à une allure vertigineuse alors que nos interfaces n'ont pas évolué depuis une trentaine d'années ? Pourquoi Ivan Sutherland dès 1963 dessinait-il déjà des objets instanciés sur l'ancêtre de l'écran tactile alors que nous dessinons encore à la souris et au clavier ? Cette combinaison d'interfaces n'est en tout cas pas la mieux adaptée à toutes les phases de création. Pour s'en convaincre il suffit d'essayer de dessiner des objets à « souris levée » pour constater son inefficacité et son imprécision. Certaines innovations permettent de renouveler le rapport entre le corps humain et nos ordinateurs et interrogent non seulement les outils numériques mais aussi les interfaces physiques qui permettent de les contrôler. A notre époque, l'interaction grandissante entre les hommes et les machines pose la question du développement cognitif humain au travers des technologies, et

du rapport intellectuel que nous entretenons avec nos machines. Les architectes étant constamment entourés d'écrans, il est important de saisir les enjeux d'une telle manifestation dans le travail des architectes, et de bien comprendre que leur impact, s'il est difficilement identifiable pour chaque individu, ne doit pas être négligé.

## **Interfaces et logiciels**

Il faut préalablement différencier deux types d'interfaces, les interfaces utilisateurs qui sont ce que nous voyons d'un logiciel à l'écran afin d'interagir avec lui, et les interfaces physiques, comme la souris et le clavier. L'ordinateur est aujourd'hui relié au cerveau humain par les mains et l'interface qu'elles contrôlent.

Alors pourquoi la souris et le clavier ? En 1964, Douglas Engelbart invente la souris pour facilement désigner des objets sur son écran et cette interface n'a finalement que très peu évolué depuis sa création. Nous disposons certes d'écrans tactiles aujourd'hui, ainsi que des tablettes graphiques, mais leur utilisation reste marginale. Une des raisons pour lesquelles nous utilisons encore cette interface proviendrait paradoxalement de notre capacité d'adaptabilité. Lorsqu'une interface est inutilement compliquée, qu'elle soit physique ou virtuelle, l'utilisateur développera un effort conséquent pour rendre l'utilisation de cette interface « normale », au point qu'il devienne difficile d'en changer car il faudrait alors réapprendre de nouveaux automatismes. Si la souris et le clavier sont parfaitement adaptés à la vie de tous les jours, nous devrions réinterroger la prévalence de cette interface et nous demander si, en tant qu'architecte, désapprendre certains automatismes pour en apprendre de nouveaux ne pourrait pas avoir des conséquences bénéfiques. Car les interfaces physiques et virtuelles que nous utilisons aujourd'hui nous empêchent souvent de manifester une

forme de pensée sensorielle ; elles réduisent notre aptitude à faire usage de tous nos sens, là où le dessin manuel par exemple fait intervenir des processus incarnés, non verbaux ou conceptuels, mais qui sont profondément liés à notre être et à notre existence.

**«Les croquis sur papier servent à étendre la mémoire de travail, permettant aux architectes de garder à l'esprit beaucoup de différentes options et variations. Au même moment l'acte physique du dessin, en demandant une forte concentration visuelle et des mouvements musculaires délibérés, aide à la formation d'une mémoire de long terme. Elle aide les architectes à se rappeler des esquisses antérieures, et les idées qu'elles recouvrent, alors qu'il tente de nouvelles possibilités.»<sup>8</sup>**

Dans la lignée du thème de la corporéité, « La main qui pense » de Juhani Pallasmaa est une référence incontournable et omniprésente dans les recherches lorsque l'on s'intéresse à la relation que l'architecte entretient avec cet organe poussé à être dissocié de notre esprit par notre environnement social. Comme si le cerveau pouvait fonctionner comme un organe autonome n'ayant pas besoin de la présence et de l'action du corps. Il appuie le fait que les sociétés de consommation occidentales nous ont inlassablement conduit à considérer le corps et l'intellect comme deux entités séparées, et se retrouve par exemple dans la stricte distinction que nous faisons entre activités manuelles et intellectuelles. Il insiste particulièrement sur le fait d'une interrelation et d'une synergie si profonde entre la main et le cerveau qu'aucune discipline scientifique ne permet à elle seule de l'expliquer complètement.

---

8 CARR Nicholas, *The Glass Cage: How our computers are changing us*, W. W. Norton & Company, New-York, 2015, p 140

« Aristote se trompait quand il affirmait que les hommes avaient des mains parce qu'ils étaient intelligents; Anaxagore était sans doute plus près de la vérité quand il déclarait que les hommes étaient intelligents parce qu'ils avaient des mains.»<sup>9</sup>

Et nos mains ont besoin d'une étape supplémentaire avant de pouvoir dialoguer avec un environnement numérique, qui se matérialise au travers des interfaces physiques, qui parfois manquent de flexibilité. Dans un article du Journal du CNRS, Michel Baudoin-Lafon précise qu'un « outil puissant, c'est un outil qu'on peut détourner, adapter, façonner à sa main ». Il met notamment en exergue la rigidité des logiciels, qui ne peuvent en définitive exécuter que ce pour quoi ils ont été programmés et plaide pour que nos interfaces et nos logiciels deviennent plus malléables. Afin notamment de réduire la friction qui peut exister au seuil de l'interface entre la machine et l'utilisateur et qui appauvrit la relation d'interdépendance et d'immédiateté entre la main et le cerveau. Nos interfaces physiques décrivent parfaitement cette idée de friction, autant que les logiciels qu'elles permettent de contrôler. Le logiciel Revit par exemple, fait montre d'une friction tellement forte en raison de son interface utilisateur et des contraintes qu'il impose naturellement, qu'il n'est en rien adapté à des phases de conception préliminaires. On lui préférera un logiciel comme Rhinoceros, moins spécialisé et centré sur l'architecture et devenant de ce fait plus flexible pour un architecte. Cette flexibilité permet à un architecte de concevoir plus librement sans avoir à subir l'interface informatique comme un frein à la créativité.

Lors d'une conférence à Rennes, l'auteur de science-fiction Alain Damasio, passionné et expert des rapports entre l'homme et la machine, résumait simplement cette idée de friction :

---

9 O'ROURKE BOYLE Marjorie, 1998, citée par Juhani Pallasmaa, 2013, p.29

«Nous passons tellement de temps à interagir avec nos interfaces qu'aujourd'hui, l'interaction vaut l'action.»<sup>10</sup>

Alain Damasio

## Le syndrome de l'orbite

Si cette friction initiale est dépassée tant bien que mal par l'utilisateur, il doit néanmoins se confronter à une autre facette nuisible des interfaces numériques et qui tient paradoxalement à leur grande précision. C'est un phénomène qu'évoque notamment Nicholas Carr dans son livre « The Glass cage », dans un chapitre dédié à la place grandissante des outils de conception numérique et à leurs conséquences néfastes :

« Grâce à la précision et l'apparente complétude des rendus sur les écrans, un designer travaillant sur un ordinateur a tendance à verrouiller, visuellement et cognitivement, sur un design à une étape prématurée. Il contourne beaucoup de la réflexion et de l'exploration ludique qui ressort de la tentative et de l'ambiguïté de l'esquisse. Les chercheurs appellent ce phénomène la « fixation prématurée », et trouve sa cause dans la dissuasion de modifier le design lorsqu'une grande partie des détails et de l'inter-connectivité est construite trop rapidement dans un modèle CAD. »<sup>11</sup>

---

10 Conférence «Être ou ne pas être artificiel» du 18 Octobre 2017 à Rennes aux Champs Libres.

11 CARR Nicholas, *The Glass Cage: How our computers are changing us*, W. W. Norton & Company, New-York, 2015, p 144

Cette « fixation prématurée », chaque étudiant l'expérimente sans forcément la percevoir mais elle a pourtant une conséquence bien visible sur notre attitude face par exemple, à des logiciels de modélisation 3D, conséquence à laquelle je me suis permis de donner un nom : Le syndrome de l'orbite.

Un ensemble de symptômes donc, caractéristique d'un engourdissement momentané des facultés de création et de perception des échelles architecturales, qui trouve sa source essentiellement dans l'utilisation intensive d'une interface informatique, et l'outil « orbite », qui permet de naviguer dans un environnement en 3D en est un révélateur.

Lorsqu'un modèle 3D a atteint ce stade de fixation cognitive, on ne peut guère faire plus que tourner autour indéfiniment. Les outils de conception numérique en architecture permettent cette exploration et donnent la capacité à l'utilisateur de zoomer indéfiniment, sans nécessairement permettre d'enrichir la réflexion. Ce syndrome caractérise également une dégradation de la notion d'échelle, en partie à cause de ce zoom numérique, qui donne la possibilité de zoomer et de dézoomer à l'infini. Même si ces fonctionnalités nous permettent de « rentrer » à l'intérieur d'un modèle 3D, la perception des espaces par le moyen des écrans d'ordinateurs est naturellement fautive, bien qu'elle se rapproche sensiblement de la réalité. Cette fautive échelle mentale peut à son tour conduire le concepteur à imaginer des solutions auxquelles il n'aurait pas songé s'il avait eu une perception réaliste de cet espace.

Alors que la fixation prématurée trouve sa source dans l'usage des interfaces visuelles et physiques, d'autres types d'interface faisant appel au corps humain de manière plus complexe se font jour. Elles pourraient permettre en outre de réintroduire une forme d'intuition similaire à celle du dessin manuel, mais dans un environnement virtuel, et en faisant usage de tout son corps.

## **La réalité virtuelle, concevoir à échelle 1:1.**

Il ne faudrait pas présenter la réalité virtuelle comme un remède qui permettrait de soigner les maux que nous avons évoqués précédemment, mais bien comme un nouvel outil qui peut permettre aux architectes d'étendre et d'enrichir leurs méthodes de conception. Toujours est-il qu'elle fait converger à elle seule une partie des problématiques liées à l'utilisation des outils numériques et plus particulièrement des logiciels de modélisation 3D. Inadaptabilité des interfaces physiques, perte du rapport d'échelle à cause du zoom numérique, tendance à extérioriser les images architecturales plutôt que de les concevoir depuis l'intérieur (Section 3: L'œil à Satiété), trop grande concentration sur le sens de la vue et moins sur les autres sens, la réalité virtuelle s'adresse à chacune de ces problématiques et représente un bond phénoménal au regard du peu d'évolution qu'ont connues nos interfaces physiques jusqu'alors.

Imaginez-vous bondir et danser dans un espace vierge, relié à l'ordinateur par l'intermédiaire d'un casque de réalité virtuelle et de contrôleurs que vous tenez en main. Vos mouvements ne laissent pas de traces tangibles à court terme dans le monde physique, mais ils en génèrent dans le monde virtuel. Ces traces peuvent être interprétées par l'ordinateur de bien des manières et peuvent en outre permettre d'interagir avec des volumétries présentes dans ce monde virtuel. Il faut bien admettre que le fait de ne pas générer de trace dans le monde physique peut se révéler assez comique pour un observateur extérieur, spectateur d'une personne qui semble totalement perdue et qui s'agit de façon incompréhensible. Pourtant l'expérience que vit l'utilisateur est souvent unique et difficilement explicable, en partie car nous n'avions encore jamais rencontré d'interface qui nous permette de générer une trace numérique tri-dimensionnelle, de la percevoir et de pouvoir interagir avec elle. être finalement capable de générer





fig.3 Glen Keane, ancien dessinateur phare de Disney, dessinant en 3D dans la réalité virtuelle

un croquis tri-dimensionnel est une expérience empreinte d'un immense potentiel, alors que la barrière entre interface physique et virtuelle s'est considérablement amincie avec un tel outil.

Les interfaces de réalité virtuelle nous promettent aujourd'hui plusieurs choses et sont de nature à influencer différemment nos pratiques. Dans un premier temps elles promettent de faire évoluer la course à « l'image » à un niveau inégalé et peut-être dangereux dans un environnement architectural déjà submergé par la profusion de rendus hyperréalistes. Mais elles promettent également de renouveler le rapport que les clients peuvent entretenir avec la vie embryonnaire d'un édifice et peut-être pour le meilleur.

Je pardonne à l'avance au lecteur qui n'aurait pas eu la chance de « voir », à l'aide d'un casque de réalité virtuelle, pour pouvoir le croire, mais regarder à travers ces lunettes, c'est être le sujet d'une véritable expérience spatiale. Une telle immersion est rendue possible grâce à un léger décalage binoculaire, permettant de simuler la profondeur de l'espace en faisant intervenir les deux yeux, mais également et peut-être de manière encore plus essentielle, en permettant l'usage de la vision périphérique. Une perspective architecturale en 2 dimensions ne permet pas de faire usage de la vision périphérique pour visualiser l'architecture, à moins de l'imprimer sur des dimensions gigantesques et de la recourber sur une surface cylindrique ou sphérique pour ainsi l'extraire de la seule dimension planaire. Juhani Pallasmaa décrit la vision périphérique comme le

sens qui permet de faire corps avec le monde, d'être englobé par l'espace et d'y insérer mentalement son corps<sup>12</sup>. La vision directe qui elle nous permet de nous concentrer sur les détails n'a pas le même impact sur la perception de l'espace. Et c'est certainement là où la réalité virtuelle réussit grandement à nous étonner, car la « sensation d'espace » est saisissante. Là où les images informatisées ont réussi à faire comprendre l'architecture à un plus grand nombre de non-initiés, les casques de réalité virtuelle permettent aujourd'hui de faire vivre un espace, et non plus seulement de le visualiser.

Mais pourquoi l'évolution des techniques de représentation nous pousse-t-elle à tout prix vers la simulation de sensations spatiales et physiques réelles, dans un monde virtuel ? Ne pouvons-nous pas nous contenter de nos images mentales et des outils dont nous disposons déjà ?

Il est encore difficile de se prononcer sur l'impact de la réalité virtuelle sur les méthodes de conception des architectes, et bien qu'il soit difficile de concevoir qu'une numérisation totale de nos perceptions sensorielles ne présente pas certaines conséquences néfastes sur le long-terme, la réalité virtuelle fait preuve de certaines qualités qu'il est impossible de nier. La sensation d'espace est bien réelle. Le cadrage qui permettait indirectement de masquer certaines parties d'un bâtiment encore en phase d'étude a disparu et il devient alors impossible de cacher quoi que ce soit. Le projet apparaît dans une toute autre réalité au client. Cette réalité n'est plus entièrement celle qu'on lui impose par nos choix de communication, mais se fonde sur la vision personnelle du client, sur sa manière propre de voir et d'explorer un espace. La réalité du projet que l'on montre à voir est moins fragmentée, moins maquillée, et bien que l'architecte contrôle encore tout à fait la qualité de l'atmosphère rendue dans ces environnements immersifs, ces technologies présentent l'avantage

---

12

PALLASMAA Juhani, *Le regard des sens*, Actes Sud, Paris, 2010

de forcer l'architecte à concevoir et intégrer chaque élément du projet dans un tout cohérent, avec une possibilité limitée d'encadrer quelle partie sera dévoilée au client, et quelle autre sera jetée sous le tapis en attendant des phases de développement ultérieures.

Mais au-delà de la communication avec le client, la facette la plus intéressante de la réalité virtuelle en ce qui concerne la conception architecturale est celle de pouvoir transposer notre environnement de travail au sein d'une réalité virtuelle nous permettant de créer et d'interagir directement à échelle 1:1. L'architecte peut alors expérimenter un espace qu'il aurait conçu avec tout son corps. Juhani Pallasmaa, sans faire référence à une telle technologie, décrit pourtant cette capacité que doit avoir l'architecte à utiliser toutes ses facultés de perception sensorielle :

**« La première qualité de l'architecte est de savoir traduire la nature multi-dimensionnelle du projet par des sensations physiques et des images vécues. En fin de compte, c'est la personnalité et le corps tout entier de l'architecte qui sont le lieu du travail de conception »<sup>13</sup>**

La différence majeure avec la vision de Pallasmaa, c'est que ces images vécues et ces sensations physiques deviennent réelles avec la réalité virtuelle. Le corps de l'architecte devient au sens littéral son lieu de travail et son outil de conception.

L'étape ultime pour les architectes sera peut-être de pouvoir se passer momentanément de toute notion d'échelle, car nous aurons à disposition un outil permettant nous seulement de voir et de ressentir, mais de concevoir à échelle 1/1. Le mur que nous dessinerons n'apparaîtra alors pas seulement sur un écran

---

13

PALLASMAA Juhani, La main qui pense, Actes Sud, 2013, Paris, p.11

d'ordinateur, mais bien devant nous, dans sa taille réelle. Nous pourrions le façonner alors qu'il se tient dans sa taille réelle en face de nous, en ayant toutefois la possibilité de le réduire et de le voir à différentes échelles.

Il est pour le moment impossible d'anticiper ses conséquences au long-terme, car l'usage de la réalité virtuelle dans les agences d'architecture demeure une pratique encore très marginale. Toutefois, nous devons scruter avec la même attention que nous le ferions pour toute autre technologie, si elle a pour conséquence de nous rendre plus attentifs aux problématiques architecturales réelles, ou si elle nous éloigne encore un peu plus de notre capacité à créer de la valeur dans le monde réel. Car ces conséquences, qu'elles soient bénéfiques ou nuisibles à l'architecte, sont évidentes et majeures tant la propagation de cette technologie est importante à l'heure qu'il est.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT DE PATENTEMENT

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

### 3) L'oeil à satiété

MIR, Beauty and the Bit, Luxigon, Air Studio et autres studios entièrement tournés vers la mise en scène visuelle et virtuelle de l'architecture non construite sont aujourd'hui des entités aussi connues que les agences d'architecture pour lesquelles elles produisent des images. Que cela nous indique-t-il quant à la prépondérance de ces images dans le monde de la production architecturale de nos jours par rapport à l'architecture elle-même ? MIR est probablement le studio dont on entend le plus parler, et qui a su se construire une réputation étonnante dans le monde des grandes agences d'architecture, seules à disposer des moyens financiers pour pouvoir se payer leurs services. Loin de se contenter de répondre aux attentes de leurs clients, ils ont depuis leur débuts développé une véritable philosophie encadrant la production de ces images photo-réalistes. « The MIR Way » est un manifeste que pourraient envier beaucoup de leurs concurrents, tant la sensibilité de leur approche est limpide et clairement exprimée. Créant des images véhiculant la forte dimension poétique du réel, sans « Lens flare » et autres artefacts lumineux, sans exagération de scènes de vie invraisemblables du point de vue de l'occupation, ils visualisent pour coller au plus prêt à la réalité.



fig.4 Utopia Lundagatan «early birds» - MIR, 2015

La fig.4, tout à fait indiscernable d'une photographie, est pourtant bien une image ayant été générée à l'aide de programmes informatiques. Lorsque le réalisme de nos rendus approche à ce point la réalité et que cet état est consciencieusement généré, on ne devrait plus parler de rendu photo-réaliste mais de photographie d'architecture. Il n'en va pas de même pour toute l'industrie de production des images d'architecture. Les rendus subjectivent et fragmentent le futur possible d'un édifice, dans le but de transmettre une intention architecturale. Souvent, elles permettent à un client alors devenu incapable d'analyser autre chose que les rendus architecturaux de juger de la qualité du futur projet, mais surtout de nos jours, de rendre ce projet attrayant.

## La technique du rendu photo-réaliste

Les procédés de travail de ces studios reposent majoritairement sur le développement des technologies de rendu photo-réaliste, que l'on peut ranger dans la catégorie des CAP (Computer Aided Perception), et dont celles utilisées par les studios de production graphique sont calquées sur la méthode de rendu physique « Physically based renderings ». à partir d'un environnement 3D et de la position d'une caméra virtuelle, le logiciel permettra de « rendre » les volumes selon l'emplacement de la caméra en projetant ombre et réflexion selon des algorithmes de « Ray-tracing » (fig.5).

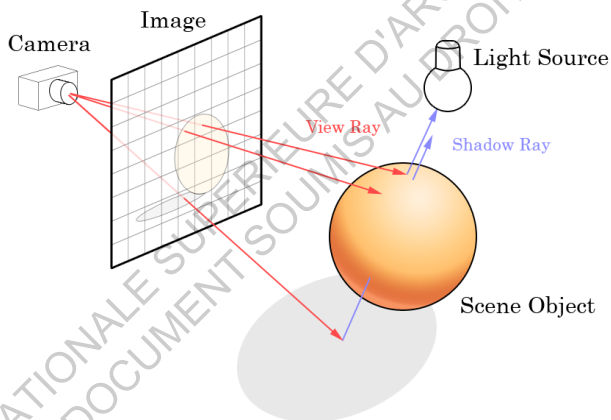


fig.5 Méthode de Ray-tracing

Le programme commence par projeter des rayons depuis l'emplacement de la caméra. Lorsqu'ils rencontrent un obstacle dans la scène 3D, l'objet en question renvoie des informations qui permettent de le reconstituer sur un plan en 2 dimensions. La deuxième fonction du Ray-tracing est de distribuer la lumière dans la scène, à partir des sources lumineuses créées, mais également de calculer la propagation et l'intensité de ces rayons en fonction des



milieux traversés, ou des surfaces sur lesquelles ils rebondissent. Depuis plusieurs années déjà la majeure partie de ces moteurs ont également intégré la technologie de rendu par « radiosité » (fig.6), conférant à ces images le réalisme dont elles ne pouvaient bénéficier sans une lourde transformation en post-production. La radiosité permet de considérer chaque facette des volumes présents dans la scène 3D comme autant de sources d'émission lumineuse indirectes.

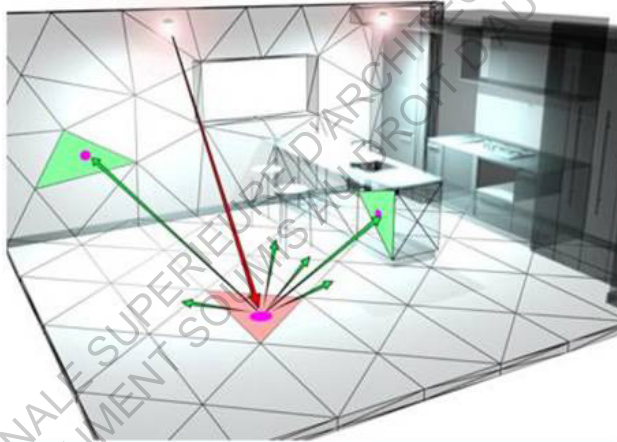


fig.6 Principe de la radiosité

L'illumination indirecte a permis de franchir un cap décisif dans le degré de réalisme des images photo-réalistes, en simulant numériquement un principe physique réel. En effet, les objets que nous voyons au quotidien ne sont pas seulement éclairés par les rayons directs du soleil ou par n'importe quelle source de lumière, mais absorbent et réfléchissent la lumière renvoyée en premier lieu par les objets environnants. Un mur opposé à l'emplacement d'une fenêtre et n'étant pas éclairé par la lumière du soleil recevra tout de même la lumière réfléchiée par le sol, le plafond et les autres murs. La radiosité permet de simuler ce phénomène de manière plus ou

moins réaliste, et très souvent la précision de l'image dépend donc du nombre de rebonds lumineux calculés par le logiciel. Plus un rendu est réaliste, plus il demande de calculs informatiques pour simuler le trajet de l'information lumineuse.

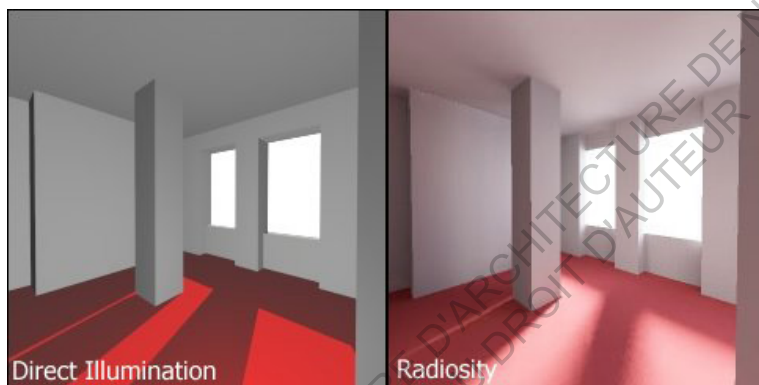


fig.7 Conséquence de la radiosity sur le réalisme du rendu

Décrire la façon dont fonctionnent ces programmes permet de mettre en exergue l'objectif principal qu'ils tentent d'atteindre qui est celui de recréer le plus fidèlement possible les conditions de la perception humaine dans la réalité. C'est donc en premier lieu dans la manière dont sont écrits les codes de ces logiciels que se cachent les prémices de la course au réalisme.

Ce qui importe aujourd'hui est de reconnaître les conséquences inhérentes à la popularisation de ces images, notamment sur la manière dont elles façonnent nos pratiques et modèlent le marché de la construction ainsi que les concours d'architecture, alors qu'à l'heure actuelle, la satisfaction immédiate du sens de la vue se substitue à tout autre finalité.

## L'hégémonie de l'oeil et les paradoxes du réalisme

Dans « Penser l'architecture », Peter Zumthor décrit brièvement son point de vue sur l'évolution de la communication architecturale au regard de son réalisme. Selon lui le problème majeur des images photo-réalistes est de brider notre imagination en lui proposant un objet « fini ». Les perspectives architecturales tentent de faire figurer aussi précisément que possible l'aura du bâtiment à l'endroit où il sera construit, mais selon Zumthor c'est précisément cette tentative qui, initialement, fait émerger en nous la curiosité pour l'objet qui n'a pas encore trouvé sa place dans notre réalité. Derrière ces images se cache la promesse d'une réalité en devenir, et lorsque cette promesse est suffisamment convaincante sans être trop précise, alors peut se faire jour le désir de sa présence.

**« Si le naturalisme et la virtuosité graphique de l'architecture représentée sont trop excellentes, si elles manquent d'une ouverture dans laquelle notre imagination peut s'engouffrer, la représentation devient l'objet de notre désir, et notre aspiration à la réalité décroît car il n'y a plus rien ou si peu de choses dans cette représentation, qui pointe vers la réalité qu'elle prévoit. »<sup>14</sup>**

Ainsi donc, une trop grande précision de la représentation tend à étouffer le désir naissant, et devient l'objet même qu'elle tente en fait de montrer. La suggestion du dessin manuel a disparu au profit d'un réalisme certes élégant, mais terriblement étouffant pour notre capacité à nous projeter et à désirer ce qui n'est pas encore présent dans le réel. On pourrait rapprocher cette idée de celle de la coopération interprétative dans les textes narratifs

définit par Umberto Eco où le lecteur, loin d'être passif, doit tirer du texte ce qu'il ne dit pas, mais présuppose ou promet. Ce qui est naturellement l'apanage des livres et des récits, pourrait inspirer les architectes dans leur manière de représenter l'architecture. Car les images que nous produisons ont aussi pour objectif de transmettre et de véhiculer des histoires. Une façon de repenser nos productions graphiques tiendrait en quelque sorte à faire d'avantage confiance à celui qui regarde, lui laisser la place d'y projeter sa conscience et ses désirs, et laisser une partie de l'idée que l'on souhaite véhiculer libre d'interprétation.

Car la prolifération à outrance des rendus architecturaux a pour conséquence immédiate une demande toujours accrue de réalisme. Paradoxalement, on observe souvent que les clients se font toujours plus demandeurs à mesure que le degré de réalisme des images d'architecture progresse. Plus on referme cette ouverture que décrivait Zumthor, ce trou réservé à l'imaginaire, plus cet imaginaire décroît et doit donc être comblé par plus de réalisme. Lorsque le réalisme atteindra son apogée, certains demanderont à voir toujours plus de spectaculaire pour éveiller un semblant d'intérêt, car l'œil avec lequel le monde regarde l'architecture est en train de se fatiguer, alors que les images elles, sont déjà devenues l'objet de toutes les attentions.

Un surcroît de réalisme agit souvent comme écran de fumée pour beaucoup d'architectes et masque la réalité profonde de l'architecture. On présente une vision attrayante au client pour détourner son attention des véritables enjeux architecturaux. L'architecture s'apparente parfois à un exercice de « packaging » dont l'objectif est de vendre un mauvais produit.

Dans le courant de l'année 2016 s'est jouée sur internet une courte mais remarquable joute par médias interposés, soulevant quelques-uns des problèmes auxquels nous confronte l'essor des rendus d'architecture. Dans un article du site internet « Failed Architecture

», l'auteur Marc Minkjan critiquait l'industrie de l'image et avançait l'argument qu'elle a profondément dénaturé le rapport que le public, les clients et les médias entretiennent avec la production architecturale :

**« Les rendus masquent la face laide de l'architecture et de l'urbanisme, et les médias les achètent. Mais Ravel Plaza ne deviendra jamais ce bâtiment extatique. Ce qui est pire est que ces images étourdissent les journalistes dans le design et engourdissent la discussion que nous devrions avoir à propos de l'architecture. »<sup>15</sup>**

L'auteur prend pour cible un futur projet de l'agence MVRDV (fig.8) en le décrivant comme une utopie irréalisable. S'il semble parfois anticiper avec pessimisme la construction de l'édifice, il pointe tout de même du doigt les contraintes constructives auxquelles on peut faire face lorsqu'il s'agit de planter autant de végétation sur un bâtiment, et qui ne semblent pas figurer dans le bâtiment projeté. La critique de l'auteur trouve un écho dans un article publié en 2013 sur Archdaily, qui demandait poliment aux architectes d'arrêter de coiffer leurs tours avec des arbres dans leurs rendus, qui seraient destinés à leur conférer une image écologique et durable alors qu'ils ne le seraient aucunement.<sup>16</sup> Depuis que les rendus d'architecture sont devenus suffisamment réalistes, ils ont dans l'esprit de beaucoup de personnes dépassé le stade de l'intention architecturale. Ils sont "officieusement" devenus contractuels et ne sont plus considérés comme des visions potentielles mais

---

15 MINKJAN Marc, «What this MVRDV rendering says about architecture and Media», *Failed Architecture*, Disponible sur <https://www.failedarchitecture.com/what-this-mrvdv-rendering-says-about-architecture-and-media/> [Consulté le 03 Décembre 2017]

16 DE CHANT Tim, «Can we please stop drawing trees on top of Skyscrapers?», *Archdaily*, Disponible sur <https://www.archdaily.com/346374/can-we-please-stop-drawing-trees-on-top-of-skyscrapers> [Consulté le 03 Décembre 2017]

bien comme des promesses qui engageraient la responsabilité des architectes. Selon Marc Minkjan, le bâtiment qui sera finalement construit par l'agence ne ressemblera jamais à l'image avec laquelle elle a communiqué son projet, et le simple fait qu'il insiste sur ce point corrobore l'idée selon laquelle le statut des rendus aurait changé au fur et à mesure qu'augmentait leur teneur réaliste.

Deux architectes de l'agence MVRDV répondent à la charge dans un article publié sur Archdaily en 2016. Selon eux, les rendus ne sont plus seulement le phénomène d'une époque qui dispose des moyens techniques pour les produire ainsi que d'une industrie qui tente de masquer ses déficiences en abusant de leur prolifération, mais sont devenus indispensables car la capacité des clients à juger d'un projet architectural sur la seule base de pièces graphiques abstraites a fortement diminué. A cause selon eux de la généralisation des environnements 3D représentés de façon réaliste, comme les films d'animation ou les jeux vidéo.

**« [...] les standards technologiques ont été rehaussés, les jeux vidéo et les films tels que "Avatar" sont devenus le nouveau socle commun, et même les enfants jouent à des jeux dont les graphismes surpassent ceux des logiciels de 3D utilisés par les architectes. A cause de cela, la volonté ou la capacité à lire des pièces graphiques abstraites a décliné, à la fois pour le public et nos clients. »<sup>17</sup>**

Exit donc une bonne partie de la riche et diverse production graphique à l'ère numérique, permise notamment par la performance des outils de représentation, mais qui serait trop

---

<sup>17</sup> KNIKKER Jan and DAVIDSON Alex, *In Defense of Renders and Trees On Top of Skyscrapers*, Disponible sur <https://www.archdaily.com/783045/in-defense-of-renders-and-trees-on-top-of-skyscrapers-mvrdv> [Consulté le 03 Décembre 2017]



fig.8 Ravel Plaza, MVRDV, 2015

abstraite pour être appréciable. Il semblerait que nous ayons trop habitué le public et les clients à ne pouvoir ou ne vouloir juger les projets d'architecture qu'en étudiant leur double virtuel réaliste, qui plus est d'un point de vue extérieur.

Car les rendus photo-réalistes présentent trop souvent l'architecture comme un bijou à regarder plutôt que comme des espaces à vivre. Cette tendance se confirme avec le précédent rendu de l'agence MVRDV, où même le point de vue choisi pour l'image ne permet pas de juger de la qualité du projet dans les expériences spatiales qu'il proposera aux utilisateurs. C'est toute la problématique des rendus en vue aérienne, nous ne verrons jamais le bâtiment sous cet angle, malgré le fait qu'ils permettent parfois de mieux expliciter le fonctionnement général du projet. On constate de façon généralisée une forme de mise à distance dans les rendus d'architecture. L'édifice se regarde de l'extérieur en venant finalement dissocier l'expérience spatiale intérieure de l'aspect esthétique de l'enveloppe, comme si 2 bâtiments cohabitaient l'un dans l'autre. Ceci pousse les clients à ne regarder que l'extérieur et surtout les élus à la recherche d'un bijou architectural pour leur ville. Cette attitude est peut-être en partie explicable par les méthodes de manipulation des objets 3D, qui obligent les architectes à adopter un point de vue extérieur afin de pouvoir dessiner leurs volumes. Mais selon Juhani Pallasmaa, l'attitude du public et des clients trouve son origine dans un changement de posture plus profond, tourné vers le spectaculaire et des stratégies relevant du marketing visuel plus que de l'architecture.

**« L'hégémonie de l'œil n'a jamais été aussi évidente dans l'art architectural que ces trente dernières années, alors que dominait un type d'architecture visant l'image spectaculaire et facile à mémoriser. Au lieu d'être une expérience existentielle plastique et spatiale, l'architecture**



**a adopté la stratégie psychologique de la publicité et de la persuasion instantanée ; les constructions sont devenues des produits images, détachés de toute profondeur et sincérité existentielles. »<sup>18</sup>**

Les nouvelles technologies de visualisation permettent de simuler très rapidement et avec une facilité déconcertante ces images et c'est également ce degré de facilité qui a appauvri notre rapport à la production graphique. Bien que cette production vise essentiellement à communiquer des intentions architecturales aux clients et au public, elle a aussi transformé les méthodes de conception au sein des agences d'architecture. Car même si les architectes ont une meilleure aptitude à se représenter l'espace uniquement à l'aide des géométraux, il faut être en mesure de visualiser l'espace rapidement pour prendre des décisions et les rendus sont un moyen rapide et efficace pour visualiser un espace. Ces pratiques sont toutefois moins disruptives et néfastes car les architectes travaillent toujours avec un ensemble plus vaste de pièces graphiques au moment de la conception et les véritables enjeux pour les architectes se manifestent à l'occasion des concours.

### **La course à l'image des concours d'architecture**

Depuis maintenant plusieurs années, on assiste à une course effrénée dans les concours d'architecture pour montrer toujours plus de ces images, et de façon toujours plus spectaculaire. Depuis environ 10 ans, les rendus sont d'ailleurs obligatoires dans la plupart des concours. C'est la raison pour laquelle on voit fleurir un nombre grandissant de studios dédiés à la production de ces images. C'est aujourd'hui un service qui s'externalise la plupart du

---

18

PALLASMAA Juhani, *Le regard des sens*, Actes Sud, Paris, 2010

temps, beaucoup d'architectes ne produisent plus les perspectives de leurs projets pour les concours, d'une part car les logiciels de rendu sont devenus très complexes et parfois difficiles à manier, mais surtout parce que c'est un atout évident lors d'un concours, et qu'une agence préférera déboursier 2000€ pour 2 images si elles lui permettent de le remporter, un mal souvent nécessaire. Cette transformation uniformisante des concours d'architecture est un processus qui s'autoalimente car plus nous produisons ces images, plus la demande augmente, et de manière analogue, plus nous intentons à la reproduction fidèle d'une réalité potentielle, plus l'exigence envers ce réalisme se renforce. La production intensive d'images photo-réalistes a un impact direct et fort sur les attentes de rendu et par conséquent sur le choix des décideurs.

Sur certains types de concours, on dépense d'ailleurs sans compter. Les PPP par exemple, (Partenariat Public-Privé), sans détailler l'ensemble des dérives que ces contrats engendrent, sont le théâtre d'une débauche de fausse luxuriance, d'autant qu'on ne sait plus vraiment qui commande ces images entre les architectes et les grands groupes du BTP. Et cette abondance peut coûter très cher. Lors d'une compétition en PPP avec une agence d'architecture dont je ne peux pas citer le nom, le cahier des charges commandait à l'architecte la production d'une quinzaine d'images « d'ambiance » en plus d'une quantité aberrante de documents graphiques. Le coût de revient final a été estimé à 32 000€ seulement pour la production externe de ces images. Sachant qu'encore 4 groupements concourraient pour le projet à ce moment-là, le bon sens nous amène à remettre très sérieusement en cause l'étalage d'une telle opulence.

Jusqu'où peut aller cette course au réalisme virtuel?

La poursuite logique sera de ne plus seulement être en mesure de montrer l'aspect futur d'un bâtiment, mais de le faire vivre.

De proposer au client d'ouvrir la porte de son projet avant même sa construction, d'explorer pièce par pièce et dans ses moindres recoins le projet encore même à l'état d'esquisse. C'est aujourd'hui chose faisable et sans grande difficulté avec les casques de réalité virtuelle. Utiliser un de ces casques pour visualiser en environnement virtuel immersif (et non plus une image plate) de rendu s'apparente en quelque sorte à transformer un rendu d'architecture via le « GOD MODE » (mode d'omnipotence disponible pour les jeux-vidéo). Tout est plus beau, plus lumineux, et surtout bien plus immersif. Mais le souci majeur du mode « Dieu » dans certains jeux-vidéo, c'est qu'on se lasse très vite du jeu lui-même puisqu'on a brisé toutes les règles et mécaniques qui faisaient sa qualité initiale. Dans un sens, la réalité virtuelle ne risque-t-elle pas de nous détourner davantage de l'objet architectural réel et nous amener à trop nous focaliser sur son alter-ego virtuel ? Nous justifions la nécessité de ces images par la valeur esthétique dont elles sont chargées, et plus seulement par un accroissement de la compréhension d'un projet.

Etant donné la percée qu'est en train de réaliser la réalité virtuelle, nous devons nous poser la question de ce que nous produirons demain pour ces concours. Assisterons-nous à la même extrapolation vis à vis de la réalité virtuelle ? Les concours d'architecture deviendront-ils alors des concours d'Architecture virtuelle ? Nous devons également nous préparer au risque que la demande s'accroisse et finisse par rendre les présentations en réalité virtuelle également obligatoires dans certains cas. La technologie est bien là, et j'ai eu l'occasion de ressentir, autour de moi, cette envie brûlante d'emmener un casque de réalité virtuelle pour montrer le projet au client ou à un jury de concours. Car l'expérience spatiale est étonnante. Là où une image ne réussira jamais à véhiculer un sentiment d'espace véritablement réaliste, on se tient dans un environnement en réalité virtuelle comme on se tient dans un bâtiment bien réel. En prenant en compte l'explosion de l'industrie de l'image de rendu, et celle à venir de la réalité

virtuelle, les architectes doivent dès à présent questionner l'apport de ces technologies pour leurs pratiques, ainsi que les postures à adopter face à ces outils.

Qu'il s'agisse de la réalité virtuelle ou des images photo-réalistes en 2 dimensions, ne faudrait-il pas s'orienter vers un réalisme ordinaire, plutôt qu'un surréalisme spectaculaire ? Il est difficile d'imaginer la fig.9 prendre forme dans la réalité, tant elle fait usage d'artifices visuels. L'image tend à brouiller les pistes sur la réalité qu'elle tente de raconter. Si la fig.10 requière des compétences de visualisation plus avancées, elle questionne l'image précédente sur son rapport entre réalisme et abstraction. Pourrait-on envisager dans ce cas de figure une abstraction encourageant plutôt la coopération interprétative ? Si nous ne voulons pas complètement dénaturer le rapport que nous entretenons avec l'architecture, nous devons remettre en question cette surproduction visuelle et peut-être revenir vers des méthodes de communications plus honnêtes, qui ne seraient pas uniquement destinées à satisfaire l'œil déjà trop entraîné par la publicité à n'être saisi que par le spectaculaire, mais ferait alors intervenir d'autres sens, ou d'autres manières de percevoir.

Juhani Pallasmaa nous invite à prendre nos distances et à rester prudent face à l'hégémonie de la vue, car selon lui « la vue nous sépare du monde, alors que les autres sens nous unissent à lui. ». La surabondance d'images sollicitant l'œil l'ont fatigué et appauvri et il est peut-être temps de reconsidérer le règne de l'image et d'inventer de nouvelles manières de « voir » l'architecture. Voir dans le sens d'une intégration élargie des sens humains, d'autant plus que les avancées technologies promettent de pouvoir bientôt reproduire numériquement et de stimuler virtuellement les autres sens.



fig.9 Schmidt Hammer Lassen - Shanghai



fig.10 Graphuk - Trondheim, Norvège - MIR, 2016

#### **4) Vers quelle CAO?**

Qu'ils soient payants ou gratuits, sous licence ou libres, il existe pour chaque étape de la conception d'un projet d'architecture une myriade infinie de logiciels à notre disposition, et bien qu'une sélection soit naturellement opérée en amont par nos enseignants, elle se fait surtout au dépend des agences d'architecture françaises et des logiciels qui y sont utilisés. Autocad par exemple fait sans aucun doute figure de favori en France pour la conception en 2 dimensions, mais il en est ainsi seulement car il est le logiciel de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) le plus utilisé dans les agences d'architecture en France. Il ne constitue plus aujourd'hui la plateforme la plus adaptée à toutes les phases de conception en Architecture, mais son apprentissage prend le pas sur d'autres logiciels, majoritairement car il est un des seuls outils numériques parfaitement maîtrisé par la majorité des architectes français. On ne peut pas parler de la technologie et de son impact dans le milieu étudiant sans évoquer ce qui en constitue l'aboutissement et la relation qui s'opère entre les deux sphères n'est pas pour autant unilatérale. Les agences d'architecture sont impactées en retour

par les avancées réalisées dans les milieux universitaires, qui leur fournissent une vision toujours actualisée de l'évolution des outils numériques.

Lorsque les logiciels de conception numérique ont permis aux architectes de modéliser des géométries complexes qu'ils ne pouvaient pas concevoir auparavant, les « blobs », acronyme de "Binary Large Object" forgé par Greg Lynn, semblaient préfigurer une nouvelle ère de langage architectural propre à l'utilisation des ordinateurs. Les nouveaux outils de conception n'étaient alors perçus que comme vecteurs d'un nouvel élan esthétique en architecture, occultant le champ des possibilités offertes par l'augmentation des performances de computation.

**« [...] Les utilisations architecturales de l'ordinateur dans une perspective expérimentale ont généralement consisté en une investigation formelle cherchant à rompre avec le vocabulaire limité de la modernité. Le résultat a été une multiplication de géométries alternatives qui rendent nécessaire l'élaboration de nouveaux critères de jugement. »<sup>19</sup>**

La convergence des pratiques vers de nouvelles expérimentations morphologiques n'est pourtant pas explicable par le seul biais de la technologie en elle-même. Pour appuyer cette idée, Antoine Picon cite l'historien de l'architecture Mario Carpo:

**«Les ordinateurs n'imposent pas en eux-mêmes de formes, pas plus qu'ils ne renvoient à des préférences esthétiques. On peut aussi bien concevoir des boîtes que des surfaces**

---

<sup>19</sup> PICON Antoine, Cultures numérique et architecture: une introduction, Birkhäuser, 2010, Basel, p.62

## plissées au moyen des ordinateurs».<sup>20</sup>

Cette citation tend à démontrer que les premières gesticulations formelles de l'architecture numérique n'étaient pas uniquement liées à l'utilisation des ordinateurs et à leurs capacités de calcul grandissantes, car nos ordinateurs et les outils qu'ils permettent aujourd'hui de manipuler représentent un véritable changement de paradigme au plus profond des méthodes de conception architecturale.

Les nouvelles esthétiques générées au moyen des modèles informatiques détournent souvent le débat du véritable potentiel et des dangers de l'architecture numérique, le canalisant vers le champ de la recherche formelle<sup>21</sup>. Les possibilités ouvertes par l'intégration grandissante des technologies numériques en architecture sont pourtant bien plus vastes, car ces nouveaux outils représentent une opportunité sans précédent pour les architectes de se ressaisir de toutes les étapes qui aboutissent à la construction d'un édifice. Il ne s'agit pas selon Branco Kolarevic de perdre de vue une posture critique sur les potentialités des outils numériques, mais de faire en sorte que la profession dans son ensemble puisse voir au-delà de vagues questionnements esthétiques.

Ces enjeux sont aujourd'hui particulièrement visibles avec l'avènement des méthodes du BIM, qui cristallisent la crainte des architectes de perdre le contrôle de la production architecturale, déjà maigre dans certains secteurs, et s'amenuisant à mesure que le rôle précis de l'architecte devient de moins en moins clair pour d'autres acteurs de l'industrie de la construction.

---

20 Ibid, p65

21 Kolarevic, B.: Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing, Taylor & Francis, New York, 2005, p.27



## **Le BIM et la perte de contrôle**

Depuis quelques années, les logiciels et plateformes dits du BIM (Building Information Model) ont envahi les agences d'architecture dans le monde alors même que certains architectes tentaient encore tant bien que mal de maîtriser les « simples » outils de DAO. Sans ralentir, il semblerait que cette progression ne cesse d'accélérer et entraîne dans son sillage une part grandissante des compétences de conception des architectes et semble parfois les en déposséder.

Les promesses du BIM sur le papier sont alléchantes : une plateforme unique et collaborative permettant de regrouper toutes les informations relatives et nécessaires à la construction d'un bâtiment, surfaces, détails des matériaux employés, parfois même le type précis du produit mis en œuvre, etc... Cette maquette numérique est aussi fractionnable en éléments de dessin interdépendants, et permet à l'architecte de travailler simultanément dans toutes les dimensions du projet, et à toutes les échelles. Une cloison dont les dimensions et la consistance seraient modifiées en plan apparaîtra avec ses nouvelles caractéristiques dans les coupes effectuées dans le modèle ainsi que dans les vues 3D. On pourra de même commander au logiciel de faire apparaître ou de masquer un nombre défini d'informations, notamment celles utiles à l'échelle employée et sans perte de données. Autant promettre la panacée lorsqu'on réalise à quel point les allers-retours de modification entre toutes les pièces graphiques d'un projet peut devenir une tâche longue et fastidieuse.

Il est difficile de définir de manière systématique ce qu'est aujourd'hui le BIM ; néanmoins nous l'associons presque exclusivement à l'emploi de logiciels de modélisation alors qu'il englobe un champ de pratiques plus vaste. « C'est en fait une suite de processus ou méthodes de travail utilisés tout au long de la conception, de la

construction et de l'utilisation d'un bâtiment. Le BIM définit qui fait quoi, comment et à quel moment. »<sup>22</sup>

Pourtant malgré des fonctionnalités prometteuses, l'emploi qui est aujourd'hui fait des technologies du BIM est en passe de mettre à mal l'autorité de l'architecte, et son implication dans les phases avancées du projet architectural. L'implication d'un nombre croissant d'acteurs autour d'un modèle unique pose également le problème de la responsabilité de ce même modèle.

**« Il convient de se demander dans cette perspective si les identités de l'architecte et de l'ingénieur ne sont pas appelées à évoluer. Toutes sortes de conflits de compétences sont susceptibles de se faire jour dans l'intervalle. L'existence même des maquettes numériques soulève la question de qui en assume la responsabilité. »<sup>23</sup>**

La relation entre architectes et ingénieurs, de même qu'une multitude d'autres bureaux d'étude autour de cette maquette numérique, préfigure un enchevêtrement de compétences et de domaines d'action qui jusqu'alors pouvaient être clairement séparés et séquencés, et se retrouvent désormais emmêlés au sein du tissu uniforme et collaboratif du BIM. La responsabilité juridique de l'architecte, qui jusqu'à maintenant était le capitaine désigné du navire s'il coulait, doit prendre en compte l'emploi généralisé du BIM afin de ne pas être désigné responsable en cas de litige. De la même manière qu'il se doit déjà de prendre toutes les mesures nécessaires en cas de contentieux afin de prouver sa non-

---

22 Définition du BIM, Disponible sur <http://www.objectif-bim.com/index.php/bim-maquette-numerique/le-bim-en-bref/la-definition-du-bim> [Consulté le 03 Décembre 2017]

23 PICON Antoine, Cultures numérique et architecture: une introduction, Birkhäuser, 2010, Basel, p.164

responsabilité concernant un défaut de mise en œuvre. L'architecte devra désormais accroître sa vigilance concernant ces maquettes globalisées, et mettre en place des procédures de traçabilité. Dans un article de [batiactu.fr](http://batiactu.fr), l'Ordre des architectes (malgré ses positions largement favorables) met en garde la profession quant à l'emploi du BIM, et propose quelques recommandations pour éviter que certains pièges ne se referment impitoyablement sur eux :

**«Des procédures de traçabilité des interventions sont à mettre en place pour identifier les partages de responsabilités en cas de contentieux et de sinistre. La traçabilité ne doit pas être limitée à la seule phase de conception, mais être permanente en phase de réalisation pour protéger la responsabilité des concepteurs.»<sup>24</sup>**

L'Ordre met également en garde contre un appauvrissement de la qualité architecturale qui serait la conséquence d'un recours généralisé à des « assemblages d'éléments industriels répertoriés, préfabriqués, et normés ». La tentation est grande en effet d'avoir recours à l'emploi massif de ces modèles, par gain de temps, et surtout d'argent. L'appauvrissement de la qualité architecturale n'est pas la seule conséquence néfaste de ces modèles préétablis, mais trouve également son origine dans la structure même et l'interface de ces outils, et notamment dans cette friction que nous décrivions plus haut. L'architecte E. J. Meade, cité par Nicholas Carr, s'inquiète du fait que des programmes populaires tels que Revit et Sketchup deviennent trop prescriptifs.

---

24 BiM: les dix précautions à prendre quand on est architecte, Publié le 23/05/2016 <http://www.batiactu.com/edito/bim-dix-precautions-a-prendre-quand-on-est-architecte-45001.php> [Consulté le 02 Décembre 2017]

**« Un concepteur a seulement besoin d'entrer les dimensions d'un mur, d'un sol ou de tout autre surface, et en un seul clic le programme génère tous les détails, dessine automatiquement chaque planche ou bloc de béton, chaque brique, tous les supports, l'isolation, le mortier et la texture du plâtre. Meade croit que la façon de penser et de travailler des architectes est en train de s'homogénéiser et que les bâtiments deviennent plus prévisibles. »<sup>25</sup>**

De tels logiciels requièrent un savoir-faire et une maîtrise totale, sans quoi la perte de contrôle sur le dessin d'un bâtiment se fera vite sentir. Dans l'ouvrage de Nicholas Carr, l'auteur prend appui sur les propos de Jacob Brillhart<sup>1</sup>, professeur à l'université de Miami, qui suggère que se reposer sur les logiciels pour remplir un projet avec des détails et pour spécifier les matériaux « ne fait que nourrir des designs toujours plus banals, paresseux et sans histoire qui sont des vides d'intellect, d'imagination et d'émotion ».

Jacob Brillhart suggère que l'introduction de raccourcis faciles à des programmes informatiques tels que Revit est en train de tuer le processus d'apprentissage.

**« L'automatisation a affaibli le lien entre l'outil et son utilisateur, pas parce que l'outil informatique est complexe, mais parce qu'il nous demande si peu d'efforts.»**

**Nicholas Carr**

---

<sup>25</sup> CARR Nicholas, *The Glass Cage: How our computers are changing us*, W. W. Norton & Company, New-York, 2015, p.145

C'est pour ces raisons que nous devons nous saisir le plus vite possible de ces outils, et ne pas se laisser submerger par leur complexité. Dans les pays Scandinaves et plus particulièrement au Danemark, la quasi-totalité des agences d'architecture comptent dans leurs rangs des architectes dont la formation diffère d'un cursus classique. Les « Constructing Architects », architectes constructeurs, sont en quelque sorte à la croisée des chemins entre les compétences de l'architecte et celles de l'ingénieur, et sont formés pour prendre le relais des architectes dans les phases avancées et détaillées de conception jusqu'à la production des plans d'exécution. Revit est sans aucun doute le logiciel BIM le plus répandu dans les pays nordiques, et les architectes constructeurs bénéficient d'une formation complète à ces outils. En France et parce qu'un tel intermédiaire n'existe pas encore de manière bien définie, il revient aux Architectes de se former à l'utilisation des logiciels de BIM et d'acquérir les compétences nécessaires pour suivre l'avancement des maquettes numériques.

Il apparaît aujourd'hui essentiel pour les architectes français de se doter des compétences nécessaires à la maîtrise totale de ces maquettes numériques, afin d'éviter de perdre la liberté de mouvement en raison d'une maîtrise insuffisante de l'utilisation de ces logiciels complexes, mais également tout conflit d'intérêt entre les intervenants et des prises de position illégitimes.

### **Qui fait quoi, et à quel moment?**

En amont de ces procédures, il est nécessaire de clarifier dès le départ quels sera le champ d'intervention de chaque acteur du projet sur le modèle numérique. Si les phases de production de la maquette ne sont pas clairement établies au préalable, il existe un risque que d'autres entités interviennent sur la maquette de façon indésirable et à des moments inappropriés. En outre, les

maquettes numériques en BIM ne sont pas uniquement utilisées pour les phases de conception et englobent tous les éléments relatifs à la conception et à l'usage d'un édifice, et ce tout au long de la conception, de la construction, et même de l'utilisation du bâtiment. Loin de simplifier les phases de conception et les relations entre les acteurs du projet, les modèles BIM demandent une vigilance accrue de la part des architectes afin de mener à bien le processus de conception sans accroc majeurs.

Car le visage pernicieux du BIM se fait jour lorsque que le mandataire du marché s'immisce de façon inappropriée dans la gestion du processus de conception, et entraîne des prises de décision unilatérales souvent en désaccord avec la vision de l'architecte. Le chantier de la Philharmonie de Paris dessinée par les Ateliers Jean Nouvel a été le témoin d'une bataille juridique sans précédent, et alors que l'entreprise de BTP en charge vantait les mérites de l'utilisation du BIM pour parer à la complexité du bâtiment, l'échec retentissant du chantier et les multiples problèmes auxquels il a été confronté (Triplement du budget, chantier retardé de plusieurs années et ouvert au public alors qu'il n'était pas totalement livré, procès avec l'architecte Jean Nouvel, malfaçons récurrentes) devraient nous amener à questionner la viabilité et la généralisation sans discernement des méthodes du BIM dans le secteur de la construction.

Dans un article du blog l'abeille et l'architecte, l'auteur de l'article va plus loin dans la description de l'intrusion sans cesse plus forte des mandataires du marché et insiste sur la dégradation progressive du statut et du rôle de l'architecte :

**«Ainsi, l'homme de synthèse ne sera plus l'architecte, mais le BIM manager du marché global (PPP, conception-construction...) payé - au détriment de l'architecte - par**

**le mandataire du marché, généralement un des trois leaders du marché. Exit l'architecte, bienvenue le Directeur Artistique Architecte, prestataire de service.»<sup>26</sup>**

L'idée que le métier d'architecte se réduirait à des missions de conseil commandées par les grandes entreprises du bâtiment a de quoi effrayer et si cette perspective peu réjouissante nous semble encore loin, c'est pourtant aujourd'hui que la bataille se joue pour déterminer qui tiendra les rênes du développement des projets architecturaux en France. Nous devons dès maintenant faire attention à ce que le BIM ne se transforme pas en idéologie managériale au service des grands groupes de la construction et tendrait à uniformiser les pratiques ainsi qu'à ancrer davantage les positions dominantes sur le marché. De plus en plus de concours se ferment aux architectes qui ne sauraient être en mesure de proposer une maquette numérique conçue avec un logiciel de BIM. Pour endiguer la généralisation de telles pratiques qui contraignent à l'uniformisation de l'outil et des processus de conception, «il faut que le BIM reste à sa place, c'est-à-dire un outil de dessin et non une idéologie. »<sup>27</sup>

Les outils du BIM connaissent aujourd'hui une expansion très forte dans les agences d'architecture, et ne sont pas les seuls. Ces dernières années ont également vu venir la popularisation des logiciels de conception paramétrique ou algorithmique.

---

26 «Mais qui pousse au BIM?» Disponible sur <https://labeilleetarchitecte.wordpress.com/2015/05/26/mais-qui-pousse-au-bim/> [Consulté le 15 Septembre 2017]

27 Ibid

## Le design paramétrique, processus informels

Évoquer le terme de design paramétrique entre architectes conduit souvent à déclencher l'apparition d'une image bien particulière dans l'esprit de son interlocuteur. Une simple recherche Google avec les mots-clés « Design paramétrique » nous conduit vers des images souvent très similaires, des formes généralement très organiques dont un paramètre au moins résulte de l'introduction d'une variable inhérente à une certaine logique (voir fig.11) La logique ici employée est devenue très populaire avec l'essor des logiciels de modélisation paramétrique ces dernières années.

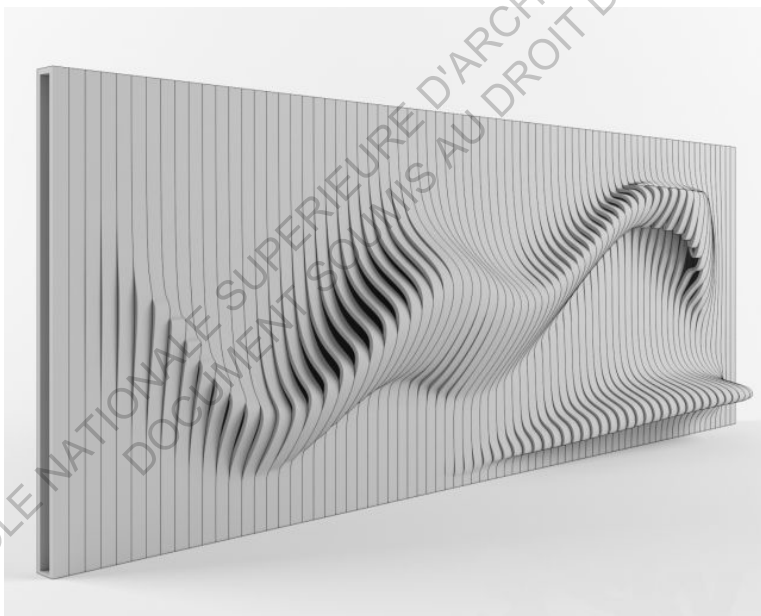


fig.11 Image qui apparaît au cours d'une recherche Google sur le design paramétrique.

La logique ici employée est devenue très populaire avec l'essor des logiciels de modélisation paramétrique ces dernières années. Cet assemblage ayant souvent recours au même processus



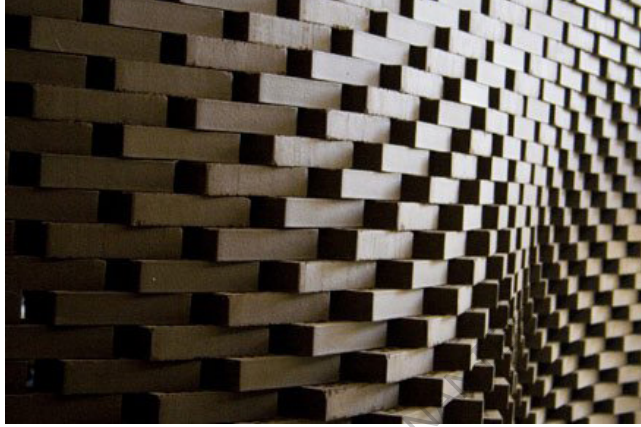


fig.12 Pike Loop, Gramazio & Kohler, exemple d'un mur construit selon la logique de discrétisation

semble très complexe mais résulte en fait de la capacité des logiciels de modélisation à générer très facilement des surfaces gauches auxquelles on applique alors un procédé de « contouring » (Sectionnement) ou ce qu'on peut appeler plus vulgairement le « saucissonnage de formes complexes ». Son intérêt majeur est de rendre constructible des formes a priori trop complexes pour leur trouver un processus constructif viable. En sectionnant la forme à intervalle régulier pour en extraire des contours curvilignes, on va ainsi permettre la fabrication de cette forme complexe par assemblage d'éléments découpés en 2 dimensions. Les outils de modélisation paramétrique permettent aux concepteurs d'envisager la construction de formes architecturales complexes par l'assemblage d'éléments plus simples, on parlera également de « discrétisation ». (voir fig.12)

**« Ces outils développent depuis quelques temps un langage morphologique propre qui ne repose plus directement sur l'imitation des formes fluides du vivant. Leur logique de discrétisation des surfaces gauches conduit à des expressions architecturales singulières faites d'éléments simples assemblés qui décrivent de manière originale les formes complexes, sans chercher à masquer leur caractère très construit, mais au contraire en l'affirmant. Ils intègrent**

**dès le départ l'impossible continuité de la forme à l'échelle architecturale et l'envisagent donc a priori comme une suite d'éléments discrétisés. »<sup>28</sup>**

Le design algorithmique est presque toujours et uniquement associé aux recherches formelles, et plus largement au domaine de la morphologie complexe. Faire du design paramétrique est encore synonyme, pour beaucoup d'architectes, d'un simple exercice formel.

Néanmoins nous présenterons ici ces nouvelles méthodes de modélisation et de conception sous un angle plus flatteur qui ne les réduirait pas à des gestes formels complexes, vidés de tout sens architectural. Si le champ de la recherche formelle (form-finding) a certes bénéficié immédiatement de l'apport de ces outils, elle n'en demeure pas moins une frange extrêmement réduite de toutes les possibilités offertes par ces outils. Au banc d'essai pour les architectes se trouve le désormais célèbre « Grasshopper » et bien que l'offre se diversifie grandement et s'intègre sous d'autres formes dans de nombreux logiciels depuis peu, il demeure l'outil de référence lorsqu'on se penche de près sur le design algorithmique. Certainement et en partie car l'outil est fondé sur le principe de l'Open-source et que n'importe quel utilisateur assez dégourdi peut se saisir du code informatique derrière le logiciel, se l'approprier gratuitement et par exemple produire de nouveaux outils pour celui-ci. Gratuit et accessible par tous, L'Open-source fera l'objet d'une autre section développée dans cette partie. Toutefois c'est l'exemple que j'ai choisi de développer ici, en partie pour sa reconnaissance évidente dans les milieux architecturaux du monde entier, mais aussi et surtout car cela fait environ 4 ans que j'utilise

---

28 BERTHIER Stéphane, *Éléments simples, formes complexes, D'architecture*, Septembre 2017, n°256, p.49

cet outil de manière régulière, et que son apport sur le plan de la conception architecturale au sens large est indiscutable.

Grasshopper est un logiciel initialement conçu comme un plug-in de Rhinocéros 3D, et formalisé par David Rutten et Robert McNeel & Associates en 2007. C'est un logiciel de programmation visuel dont l'interface simplifiée reste fondée sur la logique de programmation informatique. Au lieu de manipuler des objets textuels, l'utilisateur peut construire des relations entre les sous-programmes de Grasshopper grâce à une interface visuelle. Récemment, beaucoup de logiciels de programmation ont développé ce type d'interface, permettant une plus grande accessibilité de leurs outils, où les règles associatives et de dépendances peuvent s'exprimer en utilisant une méthode graphique basée sur les diagrammes de « nœuds », méthode qui ne requiert que peu ou pas du tout de connaissances en langages de programmation.

### **Concrètement que fait-on avec grasshopper?**

Le programme permet à l'utilisateur de connecter et de faire interagir des boîtes contenant des microprogrammes (voir fig.13). Par exemple, un programme permettant de générer un carré pourra être connecté à un autre sous-programme qui détectera la géométrie de base et la déplacera dans une direction donnée suivant l'ordre donné par une liste de vecteurs, ainsi traduits en unités de déplacement. L'un des bénéfices fondamentaux de Grasshopper concernant le champ de l'architecture, c'est de pouvoir se concentrer sur le processus de modélisation sans être prisonnier de la forme. On ne construit plus seulement des objets, mais aussi les processus de transformation et de modélisation qui les fabriquent. Cela sous-entend d'avoir parfaitement compris et analysé les caractéristiques de l'objet que l'on souhaite modéliser avant de pouvoir le mettre en forme. Si nous avions continué de

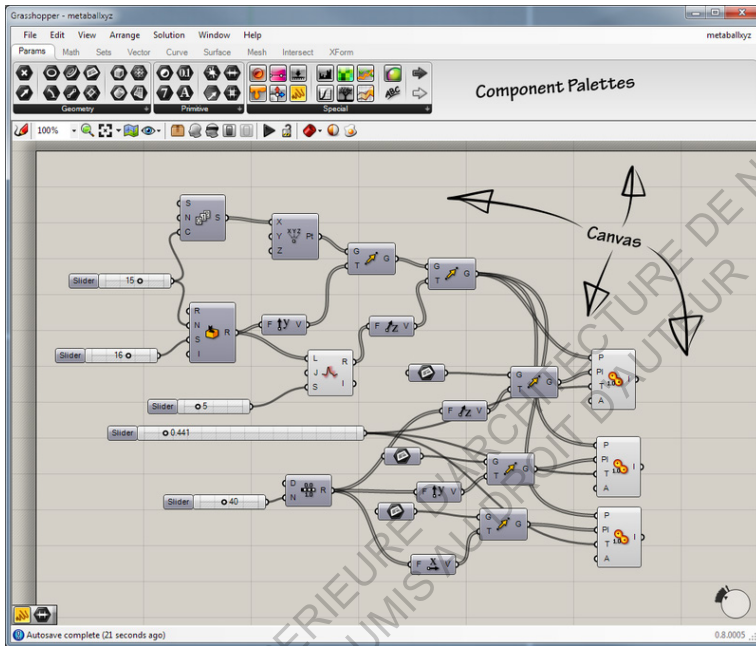


fig.13 Le canvas de grasshopper se matérialise par des relations nodales, où chaque boîte contient un microprogramme dont l'information se propage à la boîte suivante.

connecter des boîtes à notre carré, nous aurions pu le multiplier par 50 dans la direction verticale pour ensuite appliquer aux instances obtenues, un pas de rotation différent à l'aide d'une autre séquence de commandes. Puis, et c'est là que l'outil révèle une de ses qualités principales, il nous est possible de substituer la forme initiale, en l'occurrence un carré, par n'importe quelle autre géométrie qui lui conserve des caractéristiques communes, comme être une courbe fermée en plan par exemple. Notre carré peut alors devenir un triangle, qui traverse instantanément toutes les étapes de transformation que nous avons appliqué au carré. En une fraction de seconde, la forme finale à laquelle aboutit le script écrit au sein de grasshopper aura totalement changé.

« Dans ce nouveau contexte de production, une importance croissante a été donnée au rôle du design paramétrique, un processus non plus basé sur des quantités métriques fixes mais sur la constante relation entre les objets, permettant le changement d'un seul élément qui propagera les changements correspondant à travers tout le système. »<sup>29</sup>

### De la logique additive à la logique associative

Une des caractéristiques fondamentales des outils de modélisation algorithmique réside dans la capacité à ne plus être limité au seul processus additif. Selon Arturo Tedeschi<sup>30</sup>, le dessin traditionnel relève d'un processus additif dans lequel la complexité est atteinte par l'addition et la juxtaposition de signes indépendants tracés sur le papier. Aucune relation associative ne peut y être gérée et la majeure partie des logiciels de DAO, pour la plupart dans la continuité de cette logique, ont transposé ce principe d'accumulation de signes sous la forme très répandue des calques. Toujours selon l'auteur, cette méthode additive ne serait pourtant pas adaptée à la manière dont nous réfléchissons naturellement et induit d'emblée deux limites fondamentales. La première est liée à des mécanismes cognitifs sous-jacents au processus de création fonctionnant davantage par la formulation d'interrelations entre les informations, que par addition de couches successives. En ce sens donc, la logique de Grasshopper tend à se rapprocher un peu plus d'un fonctionnement cognitif naturel. Nous exposerons la seconde

---

29 SAKAMOTO Tomoko, *From Control to Design: Parametric / Algorithmic Architecture*, Actar Publishers, Septembre 2008, p.28

30 TEDESCHI Arturo, *AAD Algorithms-aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper*, Le penseur, 2014, p.16

limite plus loin dans cette section.

Avec une maîtrise suffisamment avancée, ces outils favorisent également l'apparition de nouvelles logiques de pensée. Il est peu aisé de décrire objectivement ces logiques car elles se manifestent de façons très différentes pour un problème donné et sont intimement liées au fonctionnement de Grasshopper. Néanmoins, l'une de ces logiques, qui me semble la plus probante, résonne fortement avec la pratique de la conception architecturale et puise sa force dans la capacité à reconnaître et à isoler des paramètres.

### **Isolation et contrôle de paramètres**

Pour traduire cette idée plus concrètement, je m'appuierai en partie sur un projet auquel j'ai collaboré étroitement lorsque je travaillais au sein de l'agence danoise COBE. Il s'agit de la maison des Chimpanzés qui sera construite dans le Zoo de Copenhague (voir fig.14) et remplacera l'installation existante devenue vétuste. Un des éléments forts de ce projet a été d'imaginer l'enclos intérieur des Chimpanzés sous un toit unique autoportant, dont la structure sera composée d'anneaux en bois superposés avec une certaine surface de recouvrement.

Grasshopper a été employé assez tôt sur le projet en ce qui concerne la recherche formelle, mais sa véritable force ne s'est révélée qu'au bout de quelques mois, lorsque le processus de conception était déjà bien engagé et que certaines décisions étaient alors plus ou moins arrêtées. Le script ayant permis de générer le toit est un exemple relativement simple et pourtant très efficace d'isolation de paramètres. Une liste de données sur lesquelles nous pouvions agir est apparu au fil du temps avec par exemple : l'épaisseur des anneaux, leur largeur et la surface de recouvrement entre chacun d'entre eux. Grasshopper a ici révélé son potentiel dans le nombre



fig.14 La maison des Chimpanzés à Copenhague, réalisé avec l'agence COBE.

d'itérations qui ont été opérées sur le toit. Il fallait être en mesure de fixer certains paramètres tout en étant capable d'en modifier un autre sans heurter la géométrie générale du toit. Sa forme globale était par exemple générée à l'aide de seulement deux courbes, ajustables directement dans Rhino, tandis que les différentes caractéristiques des anneaux étaient paramétrables dans Grasshopper. Il nous était possible d'ajuster l'allure générale du toit sans pour autant changer la surface de recouvrement qui venait s'ajuster au nouveau profil en temps réel. A contrario, il nous était également possible de fixer l'allure générale et de modifier l'épaisseur de chaque anneau, tout en contenant la hauteur maximale. Le toit s'ajustait en quelques secondes, certains anneaux disparaissaient s'ils atteignaient l'altitude limite, et l'on pouvait ainsi constater dans un temps très court, l'impact d'une décision sur le dessin de l'ouvrage.

L'isolation de ces paramètres peut être liée à des paramètres aussi variés que le climat, la résistance des matériaux employés ou le nombre de personnes que le projet est censé accueillir. Un concepteur avancé sera capable de reconnaître à l'avance quels critères seront susceptibles de changer au cours du temps de conception du projet et de les rendre paramétrables. Grasshopper n'a pas été utilisé ici dans le but d'aboutir à une forme trop complexe pour être dessinée manuellement mais bien dans l'objectif de minimiser les allers-retours liés à de simples ajustements et donc

d'optimiser le temps de travail.

Un autre exemple cette fois très impressionnant m'avait été donné par un ancien employé de l'agence néerlandaise UNstudio. Un des employés de l'agence avait travaillé du début jusqu'à la fin sur la conception d'un pont et avait eu recours à une utilisation intensive de Grasshopper. A tel point qu'après plusieurs mois de conception, la totalité du pont avait été modélisée au sein du plug-in et ne restait dans l'environnement de Rhino que deux malheureux points représentant la portée totale du pont, et donc la distance entre les deux accroches. Si pour une raison ou pour une autre les deux emprises du pont venaient à bouger ne serait-ce que très légèrement, il suffisait d'ajuster l'un de ces deux points pour voir la totalité du pont changer d'aspect et propager les modifications correspondantes à l'ensemble des éléments. Sans une telle intégration des paramètres à l'aide de la modélisation paramétrique, il ne fait aucun doute que le temps passé à modifier la géométrie du pont suite à un raccourcissement général de ce dernier aurait pris bien plus de temps, là où avec Grasshopper, l'ensemble des modifications à apporter étaient répercutées au sein du modèle numérique en quelques secondes.

Pour beaucoup d'agences d'architecture, de telles compétences sont aujourd'hui extrêmement recherchées en raison du gain de temps et d'énergie qu'elles peuvent représenter. Il est par exemple tout à fait possible d'étendre la propagation des ajustements jusqu'à la sortie des dessins d'exécution et de passer à un temps d'ajustement proche de zéro. La modélisation numérique d'un projet nécessitera certainement un temps plus long car il faudra comprendre chaque paramètre à l'avance et passer beaucoup de temps à construire un script intelligent, mais la compréhension générale du projet n'en sera que plus forte à terme et l'impact lié aux modifications fortement réduit.



Nous exposons précédemment l'idée que le dessin de nature additive présente deux défauts fondamentaux. Le premier était lié à une logique trop distante des mécanismes cognitifs naturels et la seconde limite qu'évoque Arturo Tedeschi, est le fait que le dessin traditionnel exclu nécessairement certains paramètres d'ordre naturel :

**« [...] le processus additif du dessin exclu des aspects d'ordre physique qui dans le monde réel sont à l'origine de la génération de formes. Le dessin traditionnel ne peut par exemple pas gérer les forces (comme la gravité) et les contraintes qui affectent et restreignent les déformations et les déplacements. Ces limites ont restreint l'exploitation du dessin et ont forcé les designers à réitérer des systèmes tectoniques définis plutôt que d'innover. »<sup>31</sup>**

Cette seconde limite nous amène à exposer un aspect lié à l'emploi de méthodes de conception algorithmique qui pourrait renouveler les relations entre architectes et ingénieurs.

### **Architectes et ingénieurs, un amour retrouvé**

Une plus grande compréhension des systèmes produits est l'un des bienfaits immédiats des outils de modélisation paramétrique. Afin de pouvoir les utiliser correctement, il faut avoir préalablement établi toutes les relations entre les paramètres et avoir parfaitement compris les géométries mises en œuvre. Grasshopper n'a que peu de pitié pour un utilisateur ayant une maîtrise partielle du

---

<sup>31</sup> TEDESCHI Arturo, AAD Algorithms-aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper, Le penseur, 2014, p.16

processus qu'il tente de mettre en place et si toutes les étapes du processus, tous les paramètres ne sont pas « branchés » correctement, le script ne pourra pas propager les données mal raccordées et ne fonctionnera pas. Bien que le logiciel permette d'identifier rapidement la source du problème, il ne le résoudra que si l'utilisateur a bien identifié et compris les enjeux de l'algorithme qu'il tente de construire, là où d'autres logiciels de modélisation seront plus cléments et permissifs en laissant l'utilisateur continuer

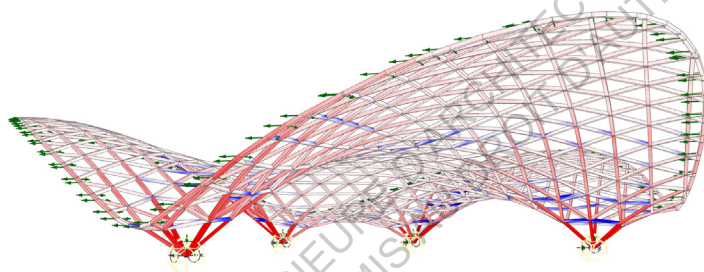


fig.15 Gridshell modélisée dans Karamba, un plug-in de Grasshopper avec des géométries imparfaites.

Cette compréhension toujours plus grande des formes et des processus de génération formelle ne peut à mon sens qu'améliorer les relations parfois difficiles qu'entretiennent architectes et ingénieurs. Les ingénieurs travaillent depuis longtemps déjà avec des systèmes paramétrables et avec la logique paramétrique, logique causale qu'ils connaissent déjà bien. Les méthodes de travail d'un nombre grandissant de bureaux d'ingénieries tendent d'ailleurs à intégrer toujours plus d'outils de modélisation paramétrique. Grasshopper permet désormais de combiner des plug-ins de pré-calcul structurel tel que Karamba 3D. (voir fig.15) De tels outils permettent désormais à des architectes n'ayant pas bénéficié d'une formation poussée au développement des

systèmes structurels, d'envisager la relation avec les ingénieurs structurels sous un angle nouveau ; En partie grâce à l'ergonomie des interfaces, mais aussi parce que le paramétrique est devenu visuel et permet aux architectes de mieux comprendre et visualiser les relations entre les éléments de nature structurelle.

**« Avec des logiciels comme Karamba 3D ou RhinoVAULT, on peut voir la structure se modifier en fonction des paramètres dont on l'informe. En devenant graphiques, ces logiciels rapprochent la conception morphologique de la conception des structures »<sup>32</sup>**

Selon Klaas de Rycke, ingénieur-architecte diplômé de l'université de Gand, ces outils encouragent le partage de l'invention entre architectes et ingénieurs. Les deux parties ne travaillent plus nécessairement de façon séquentielle, en suivant la vieille logique qui consiste dans un premier temps pour l'architecte à dessiner sa vision du bâtiment, et à l'ingénieur de venir par la suite la corriger et lui conférer une réalité constructible. Le système peut être d'avantage récursif, et les domaines de compétences s'entrecroisent et se superposent entre architectes et ingénieurs. Il ne s'agit aucunement de retirer les compétences de conception des structures à ces derniers, mais bien de favoriser les allers-retours entre la conception architecturale et la conception des structures, point de réjouissance pour les ingénieurs, car ces nouvelles relations permettent selon Klaas de Rycke un partage de l'invention plus riche.

Le bénéfice de tels procédés est indéniable pour les architectes. Grâce aux logiques paramétriques, architectes et ingénieurs

---

<sup>32</sup> BERTHIER Stéphane, *Éléments simples, formes complexes*, Entretien avec Klaas de rycke, d'architectures, Septembre 2017, n°256, p.51

peuvent créer des systèmes où l'interaction est plus grande entre les différents paramètres architecturaux et la structure, et donnent alors plus de sens à l'ensemble de l'édifice.

### **Sérendipité, émergence et champs d'indétermination**

La sérendipité est un concept en vogue chez les architectes et qui connaît son apogée avec les outils de conception paramétrique. On l'évoque notamment lorsque qu'un système informatisé produit un résultat inattendu et fortuit auquel le concepteur ne s'attendait pas, et qu'il n'aurait parfois pas pu imaginer ni dessiner sans la puissance de computation des ordinateurs. Ces systèmes encouragent le concepteur à concentrer toute leur attention sur les processus de génération, quitte à faire abstraction en premier lieu du résultat engendré sur le plan formel, et il arrive parfois que le système produise un résultat pouvant s'avérer plus intéressant que ce qui était initialement prévu. De telles surprises sont permises car l'esthétique et l'aspect formel sont relayés à l'arrière-plan pour concentrer toute l'attention sur les relations logiques entre les éléments constitutifs du modèle. L'objectif n'est pas de faire disparaître la dimension esthétique, mais de faire en sorte qu'elle ne relève plus d'un élément génératif, mais bien d'une conséquence produite par le système.

**« Dans ce modèle de design, un système d'influences, de relations, de contraintes et de règles est en premier lieu défini à travers des procédés d'information [...] la structure d'interdépendances qui en résulte est souvent une forme générique, qui est ensuite assujettie aux procédés de déformation ou de transformation, entraînés par les**

relations et règles incorporées dans ce même système. »<sup>33</sup>

La sérendipité s'apparente essentiellement à une manifestation spontanée résultant d'une erreur ou d'un imprévu, la notion d'émergence formelle quant à elle permet de mieux définir les processus construits consciencieusement dans le but de générer des résultats imprévisibles. La qualité de l'émergence est quant à elle intrinsèquement liée aux capacités de cognition du concepteur, et son habileté à anticiper les résultats produits par un algorithme sans véritablement les « voir ». Selon les variables informées, un algorithme permettra de générer un nombre important d'itérations, et il revient toujours à l'utilisateur humain d'évaluer si la valeur esthétique de l'objet produit se justifie à elle seule et doit prendre le pas, par exemple, sur les dimensions fonctionnelles, structurelles ou énergétiques.

Les outils de modélisation paramétrique font montre d'un potentiel de création très vaste pour un temps de production pouvant être fortement optimisé. Pour un modèle donné, quelques paramètres bien choisis permettront d'aboutir à des finalités très différentes en quelques minutes, où l'origine de la génération et le lien unissant les différents résultats deviennent parfois difficilement perceptibles. Cette puissance permet de s'affranchir de la forme, et de modeler un raisonnement informel, qui peut surprendre par l'émergence à laquelle il aboutit, mais dont les données génératives sont mieux comprises. Les actions et réactions inhérentes à un système paramétrique rendent possible l'existence de « champs d'indétermination »<sup>34</sup>, desquels peuvent émerger des formes inattendues qui découlent des variations imprévisibles générées par

---

33 KOLAREVIC Branko, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, Taylor & Francis, New York, 2005, p.27

34 KOLAREVIC Branko, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, Taylor & Francis, New York, 2005, p.27

le modèle paramétrique. Ces systèmes dits « non-linéaires », sont chargés d'informations possédant un certain degré de variabilité et donnent naissance à des environnements de conception indéterminés produisant continuellement de nouveaux résultats. Ce qui importe en définitive n'est plus la finalité de l'objet produit mais une compréhension et un contrôle accru des modalités de génération et de conception, même si cela implique de se laisser surprendre en bout de course.

**«Dans les approches contemporaines et informatiques du design, il y a une reconnaissance explicite que l'acceptation de l'inattendu et de l'imprévisible est souvent ce qui pave la route vers une invention poétique et des transformations créatives. La non-linéarité, l'indétermination et l'émergence sont intentionnellement recherchées.»<sup>35</sup>**

## L'architecture et l'Open-Source

A l'ère de la big-data et dans un monde où maîtriser le flux colossal et continu d'informations numériques que nous produisons est devenu un graal sans cesse remis en jeu, l'Open-source est une notion encore difficilement palpable mais qui déjà se fraye un chemin dans nos métiers et menace à sa manière la paternité des projets d'architecture et la notion de propriété intellectuelle. Qu'est devenue aujourd'hui l'architecture sinon une masse de données informatique gargantuesque, dont une infime partie seulement se traduit par la matérialisation physique d'un édifice. Le nombre incommensurable de plans, de coupes, de modèles 3D qui sont produits chaque jour dans le cadre du développement de projets architecturaux pose aujourd'hui une question dont les tenants et aboutissants sont encore difficilement discernables :

**« La discussion la plus pertinente pour les architectes et les designers est celle de la production, qui englobe désormais un large public commercial. Comme l'automatisation devient courante dans le domaine de l'architecture, du design et de la construction, nous devons aborder comment, à l'ère numérique, l'architecture peut continuer à créer plus de valeur pour le concepteur qui s'engage dans le système ouvert de conception informatisée. »**<sup>36</sup>

Wendy W. Fok dans un article de la revue AD, fait ici référence à l'émergence de plateformes en Open Source, destinées aux architectes et designers. « Open Source » signifie littéralement « code source ouvert ». Le terme est souvent employé pour caractériser une population de logiciels autorisant n'importe quel utilisateur à

---

<sup>36</sup> W. FOK Wendy, «Opening up the future of Open Source», *Revue AD*, vol n° 86  
Mai 2016, Digital Property: Open-Source Architecture, p.125

étudier, modifier et partager son code-source. Mais l'Open Source renvoie plus généralement à tout type de système ayant renoncé à privatiser le savoir qu'il véhicule. Pour imaginer ce concept, Carlo Ratti et Matthew Claudel présentent la notion d'Open source sous sa forme la plus archaïque, la cuisine. Le savoir culinaire est la forme la plus universelle et répandue d'un système de production de connaissances en Open source. Une recette de cuisine n'appartient vraiment à personne, sauf dans de rares cas, et elle est partagée par de larges communautés comme un savoir fondamentalement gratuit et accessible à tous. Les recettes s'échangent, se modifient et se partagent à nouveau sans contraintes et sans redevance.

**« Il est plus facile d'expédier des recettes que des gâteaux et des biscuits. »**

**John Maynard Keynes**

Mais que se passe-t-il lorsque l'on transpose directement la philosophie de l'Open-Source à l'architecture ? Un architecte produirait donc des plans ou gabarits que d'autres personnes pourraient étudier, modifier et partager selon qu'ils y apportent ou non des modifications. Le plan de l'architecte ne lui appartiendrait plus mais serait tout à fait appropriable et modifiable par une personne qui en manifesterait le besoin. L'architecture Open Source décrit de nouvelles procédures pour la conception et la construction des bâtiments basée essentiellement sur l'idée d'une collaboration étendue, permettant d'inclure une large communauté au processus de conception architectural. Si cette définition semble préfigurer un changement de paradigme, les auteurs de l'ouvrage Open Source Architecture décrivent avec humour une révolution qui n'en est pas une :



« L'idée d'une architecture basée sur une approche ascendante, localement adaptée, copiée sur des typologies existantes et construite par les citoyens eux-mêmes, usant de leurs propres ressources sociales et financières n'a rien de fondamentalement nouveau. Par bien des aspects cela ne fait qu'apporter la technologie à la construction des granges de l'ère préindustrielle. L'architecture Open-source est présentée comme une innovation, mais ce n'est véritablement que du vernaculaire avec une connexion Internet. »<sup>37</sup>

L'Open source bénéficie en outre de l'apport des logiques de conception paramétrique, où des outils comme Grasshopper ouvrent de nouvelles perspectives quant à une personnalisation de masse de cette architecture ouverte. On ne se contenterait pas de dupliquer des plans sans leur appliquer un correctif, prévu par un script et permettant d'adapter un modèle de base à divers utilisateurs. Ces scripts partagés selon la logique de l'Open Source permettraient à des communautés d'architectes et de designer, de partager et de comparer l'information de façon collective accélérant de ce fait l'accumulation historique d'un savoir architectural partagé par tous. L'Open source promeut le partage et l'entraide, et l'une des conséquences majeures lorsque cette philosophie prend appui sur Internet, de la même façon que les logiciels libres, est de favoriser l'apparition et la cohésion d'une forte communauté d'internautes.

Toujours est-il que la brutale transposition des valeurs de l'Open Source à l'architecture ne va pas sans poser un certain nombre de questions, notamment au regard de nos méthodes actuelles de

---

37 RATTI Carlo, CLAUDEL Matthew, Open Source Gets Physical:How Digital Collaboration Technologies Became Tangible, *Open Source Architecture*, Thames & Hudson, 2015, Chapitre 5, p. 101

production architecturale. à partir du moment où n'importe qui peut fabriquer un objet grâce à l'impression 3D et à partir d'un fichier informatique, que ce même fichier peut-être aisément dupliqué, transformé et partagé, les architectes et designers seront demain confrontés à une remise en question majeure de leur rôle dans la chaîne de production du design et de l'architecture.

### **Paternité et propriété: L'exemple de WikiHouse**

Qui est vraiment l'auteur de la chaise dont j'ai téléchargé le fichier et construit de mes propres mains ? Et si je décidais de la vendre ou de monter un commerce à partir du dessin initial de cette chaise ? Qu'arriverait-il si IKEA voulait me racheter mon design et que deviendrait la personne qui a initialement dessiné cette chaise ? Et si cette chaise était en fin de compte une maison entière ?

Si aucun cadre législatif n'est mis en place pour réguler la production des designers et architectes, il est assez facile d'imaginer que la question épineuse de la propriété intellectuelle surgisse si l'on tente de transposer l'idée de l'Open Source aux milieux de la création. Depuis quelques années déjà, des initiatives telles que le Copyleft ou les Creative Commons<sup>38</sup> tentent de flexibiliser la notion de propriété intellectuelle, en proposant par exemple à un concepteur quel qu'il soit de pouvoir partager gratuitement et librement sa création en lui garantissant toutefois d'être cité à chaque fois qu'une occurrence de son travail apparaît. Il existe différents degrés de liberté concernant ces Creative Commons, qui permettent de fluidifier un nouveau type de marchandisation de données sur Internet. On observe aujourd'hui un fleurissement de start-up qui vendent des informations numérisées permettant de produire des éléments, plutôt que de produire les éléments eux-mêmes. Il y a

---

38

Disponible sur <https://creativecommons.org/> [Consulté le 02 Décembre 2017]

de grandes chances pour que nous observions dans les années à venir une explosion de ces entreprises basées essentiellement sur la vente de données, et dans le domaine de la construction de maisons individuelles, cela prend la forme d'un groupement tel

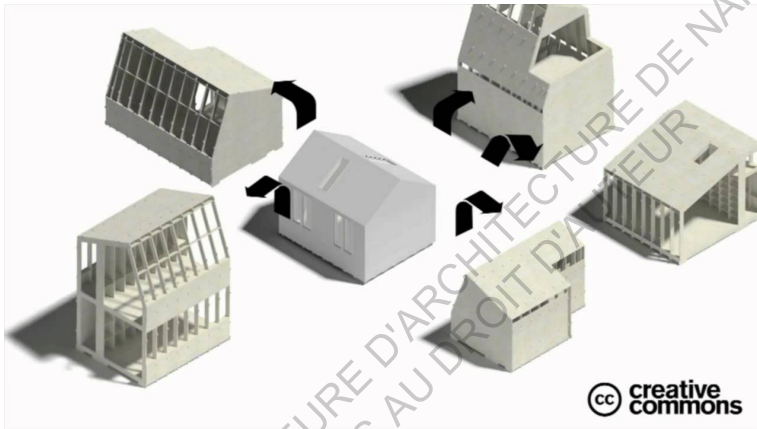


fig.16 Principe de modification des modèles proposés par la société WikiHouse

que Wiki-house, le profit en moins.

La mission que s'est fixée le projet WikiHouse se résume par les 3 points suivants :

1. Mettre les solutions de design pour des bâtiments à faible coût, faible consommation d'énergie et des maisons à haute performance entre les mains de tous les citoyens et entreprises du monde entier.

2. Profiter de la digitalisation pour permettre plus facilement aux industries existantes d'investir, de mieux produire et d'assembler des maisons plus abordables et écologiques pour un plus grand nombre de personnes.

3. Faire grandir une nouvelle industrie du logement

redistribuée, intégrant de nombreux citoyens, communautés et petites entreprises développant des maisons et quartiers pour eux-mêmes en réduisant notre dépendance aux approches descendantes, et à un système de production de masse pour les logements.



fig.17 Prototype de maison WikiHouse, découpée avec une CNC.

Wiki-house est une association à but non-lucratif qui se présente sous la forme d'une simple plateforme internet permettant à des utilisateurs du monde entier de télécharger des modèles de maisons « prêtes à découper » déjà chargées sur le site et sous licence Creative Commons. (voir prototype fig.17 et fig.18)

Cette plateforme donne la possibilité à une large communauté d'internautes de partager les ressources à disposition, de les modifier et de participer à l'élargissement de la bibliothèque du

site internet. Les modèles téléchargeables contiennent toutes les notices d'assemblage nécessaires à la production des pièces de la maison, ainsi qu'à leur assemblage. Les plans sont initialement accessibles gratuitement, reproductibles et commercialisables par la suite sous licence Creative Commons, ce qui permet à des architectes et designers de les étudier pour éventuellement enrichir la bibliothèque de WikiHouse, mais également à n'importe qui d'en faire commerce. Afin de partager globalement en vue de construire localement, les plans de construction sont destinés à être découpés dans du contre-plaqué à l'aide de machines à commande numérique (CNC), et les maisons peuvent être assemblées en moins d'une journée par des personnes ne possédant aucune compétence dans le domaine de la construction.

La question essentielle adressée par Wikihouse est de savoir à qui l'architecture sera destinée dans le futur. Selon l'un des membres fondateurs de WikiHouse « Nous dessinons essentiellement pour les 1% les plus riches de la population mondiale, alors que les 99% restants n'ont tout simplement pas les moyens de construire »<sup>39</sup>, et encore moins de faire appel à un architecte pour le faire. L'un des aspects directeur de leur philosophie est en effet de permettre d'abaisser le coût de fabrication et de mise en œuvre de ces maisons pour les rendre accessibles au plus grand nombre.

**« La question centrale derrière quelque chose comme WikiHouse est de savoir si la technologie peut significativement abaisser le seuil de design et de fabrication, et ainsi démocratiser le “faire” de la même façon que l'imprimante personnelle a démocratisé l'impression,**

---

39 PARVIN Alastair, «Architecture by the people, for the people», Conférence TED Disponible sur [https://www.ted.com/talks/alastair\\_parvin\\_architecture\\_for\\_the\\_people\\_by\\_the\\_people](https://www.ted.com/talks/alastair_parvin_architecture_for_the_people_by_the_people) [Consulté le 13 Novembre 2017]

**ou que Youtube a démocratisé la télédiffusion. »<sup>40</sup>**

Dans cette continuité de l'accès au plus grand nombre se pose également la question des plateformes physiques qui permettront aux citoyens de pouvoir réaliser de leurs mains de telles maisons. Pourrait-on imaginer plus tard que les fablabs se constituent spontanément dans le but de produire une architecture issue de l'Open Source ? Avec l'exemple de wiki-house et des nouvelles plateformes en Open Source qui pourraient voir le jour, les chaînes de fournisseurs traditionnelles et hyper industrialisées pourraient être progressivement remplacées par des chaînes de manufacture locales et profondément liées au numérique. Les fablabs pourraient constituer des foyers majeurs de diffusion et de partage tant leur philosophie se rapproche de celle de l'Open Source.<sup>41</sup>

Explorant largement le potentiel de la manifestation de données informatiques dans le monde physique, les fablabs (littéralement «Laboratoire de Fabrication») ont conservé depuis leur création la philosophie qui les a initiés, celle de permettre à n'importe quel citoyen d'apprendre en produisant lui-même des connaissances au lieu d'attendre passivement qu'on les déversent dans son esprit. Même si les fablabs revêtent très souvent l'allure d'entités autonomes n'étant pas nécessairement connectées à des universités ou des programmes universitaires particuliers, ils demeurent de véritables lieux de partage des connaissances et se rapprochent parfois des cellules pédagogiques comme ce fût le cas avec la Plateforme C, le fablab de l'île de Nantes, L'école d'architecture et l'IUT de Nantes.

---

40 LERODIACONOU Nick. "WikiHouse, An Online Building Kit, Shows How to Make a House in 24 Hours." FastCo Design, August 2011, Disponible sur <https://www.fastcodesign.com/1664873/wikihouse-an-online-building-kit-shows-how-to-make-a-house-in-24-hours> [Consulté le 15 Novembre 2017]

41 RATTI Carlo, CLAUDEL Matthew, Open Source Gets Physical: How Digital Collaboration Technologies Became Tangible, *Open Source Architecture*, Thames & Hudson, 2015, Chapitre 5, p. 82-103

La pièce maîtresse de la Plateforme C, une grande CNC (fraiseuse à commande numérique) est d'ailleurs le résultat d'une collaboration étroite entre ces 3 entités.



fig.18 Construction d'un pavillon téléchargé avec Wiki-house

Le mot d'ordre des fablabs est l'ouverture. Formant de grands espaces de travail collaboratif, ils mettent à disposition du plus grand nombre des machines très perfectionnées, souvent en échange d'un investissement participatif. On y paie avec son savoir et ses compétences. Les fablabs se situent dans la continuité de la philosophie d'Open-source. Les logiciels libres sont de rigueur, des programmes souvent gratuits qui autorisent l'accès, la modification et la duplication du code source. Le partage des données et l'entraide sont les fondements de ces entités participatives, permettant à des personnes de tous niveaux et de tous milieux d'échanger dans des lieux dont la convivialité est induite par cette ouverture. Au regard de plateformes telles que WikiHouse, il semble que les fablabs soient l'endroit désigné pour s'engager dans de telles démarches et permettre à tout citoyen le désirant de s'approprier un savoir

architectural librement partagé, le modifier et le construire, pour le partager à son tour.

En guise de conclusion, il me semble qu'un des très court manifeste de l'agence néerlandaise DUS architects, dont nous présenterons une réalisation dans la deuxième partie, résume d'une belle manière l'idée de l'Open Source lorsqu'elle est transposée à l'architecture:

**« Voyez l'architecture comme une source ouverte; un cadeau dans lequel d'autres sont mis au défi de participer. Partagez des versions "bêta" de vos idées avec le public afin de générer des boucles de rétroaction puissantes. Cocréez une architecture mutable et ouverte à de multiples interprétations. Les gens vont la découvrir et la feront leur. Le design qui confronte l'imagination de chacun crée des opportunités de communication entre le domaine privé et public, et entre les individus. »**<sup>42</sup>

---

<sup>42</sup> Manifesto n°9, DUS Architects, Disponible sur <http://houseofdus.com/#section-manifesto> [Consulté le 17 Novembre 2017]



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



fig.19 Robotic fabrication, ICD/ITKE Research Pavilion, 2011, Université de Stuttgart.

# PARTIE 2 - FABRICATION DIGITALE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

«Dans la trajectoire de la première pierre lancée par la main de l'homme, s'ouvre le champ infini de la technique et de l'humanité.»

Peter Sloterdijk, La domestication de l'être.

## Introduction

Nous avons vu, au travers de certaines technologies et méthodes, que le rôle de l'architecte, ainsi que ses méthodes et outils de conception, ont connu et connaissent aujourd'hui de profondes mutations. Mais la vie embryonnaire et virtuelle d'un bâtiment n'est pas seule à être impactée par la démocratisation des outils numériques en architecture, et sa matérialisation dans le monde réelle connaît de sérieuses transformations, dont les prémices sont déjà à l'œuvre dans le monde de la recherche et dans certaines écoles. La synthèse des données et des matériaux qui ne s'est pas développée au début de l'ère numérique, se réalise dans l'architecture d'aujourd'hui. Elle se produit au travers de diverses manifestations spatiales et structurelles, où les données et le matériau ne peuvent plus être interprétés comme des informations évoluant en parallèle, mais plutôt comme des expressions innées de l'architecture, dont la combinaison est devenue indispensables à la construction dans un nouvel âge numérique. Les universités sont devenues notamment un terrain d'expérimentation formidable pour tester et développer de nouvelles méthodes constructives, profondément intégrées et liées aux outils du numérique. L'ETH de Zurich, l'EPFL de Lausanne, l'université technique de Stuttgart et la Bartlett School au Royaume-Uni, sont quelques-unes des écoles européennes déjà à pied d'œuvre quant au développement et à l'apprentissage par les étudiants des technologies et outils de fabrication digitalisée. De même que les universités s'équipent petit à petit de machines extrêmement sophistiquées, les agences d'architecture, lorsqu'elles en ont les moyens financiers, commencent elles aussi à se munir de machine de prototypage avancées.

Les méthodes de fabrication digitale peuvent être regroupées dans 5 grandes catégories, 5 façons fondamentalement différentes d'agir sur la matière à partir de données informatiques traduites en commandes numériques pour les machines de fabrication digitale.<sup>43</sup>

- La découpe en 2 dimensions : Les découpeuses laser et machines de type CNC (Computer Numerical Control, francisé en Commande numérique par Calculateur) sont majoritairement utilisées pour ce type de transformation



fig.20 Découpe laser sur plaques de métal

- La fabrication Soustractive: L'école de Nantes possède aujourd'hui une machine permettant de telles opérations, les CNC fraiseuses 5 axes permettent par exemple de tailler des pièces de bois sur des

---

43 KOLAREVIC Branko, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. Taylor & Francis, New York, 2005, p.7



fig.21 Usinage 5 axes sur bois  
dimensions relativement importantes, parfois plusieurs m<sup>3</sup>.

- La fabrication Additive: Implique une formation incrémental par dépôt de couches successives. Les imprimantes 3D sont l'exemple le plus courant aujourd'hui pour effectuer ces opérations.

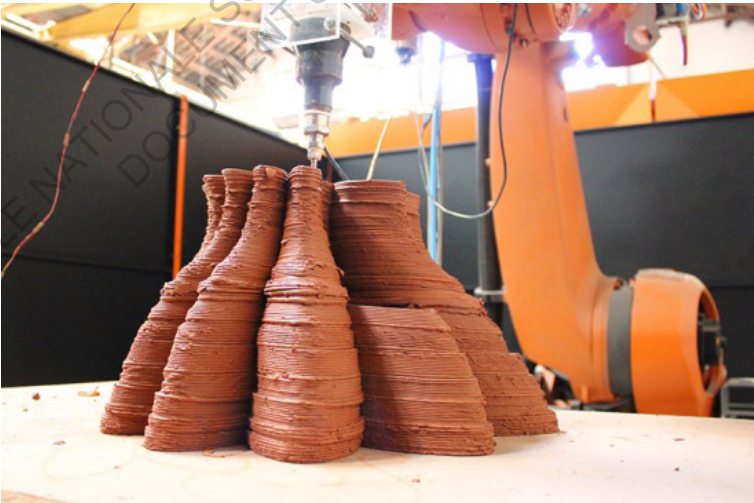


fig.22 Impression en 3D de couches d'argile

- La fabrication Formative: Consiste à déformer (par forces mécaniques, chaleur ou vapeur) un élément déjà formé, comme par exemple le cintrage de profilés métalliques.

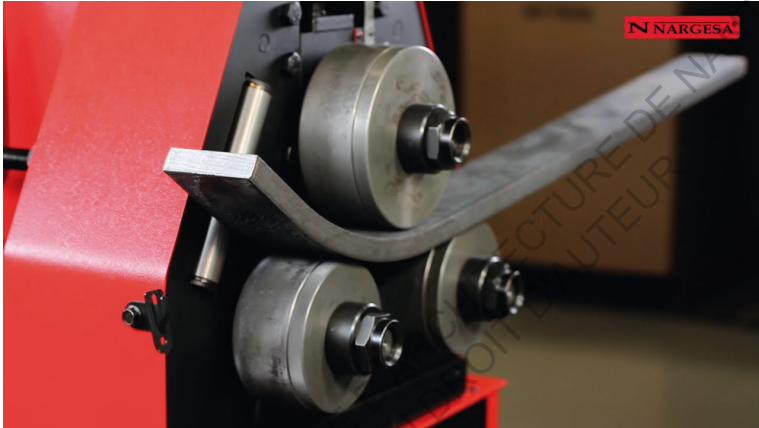


fig.23 cintrage de pièce métallique

-L'assemblage: (voir fig.24) Après que des éléments aient préalablement été fabriqués, leur assemblage final peut être réalisé grâce à un positionnement opéré par des machines. C'est le cas par exemple des bras robotisés qui permettent de positionner des éléments avec une position donnée dans l'espace, repérée au préalable par des coordonnées spécifiées au sein d'un environnement numérique.

Toutes ces techniques de fabrication digitale peuvent chacune aboutir à des formes similaires, mais agiront sur la matière différemment. De même que certains matériaux ne sont pas appropriés à toutes ces techniques. Un modèle informatique de base unique (fichier 3D par exemple) est applicable à différents procédés, mais chacun requerra la traduction en commandes informatiques d'une façon qui lui sera propre. Un fichier 3D utilisé pour l'impression en 3D

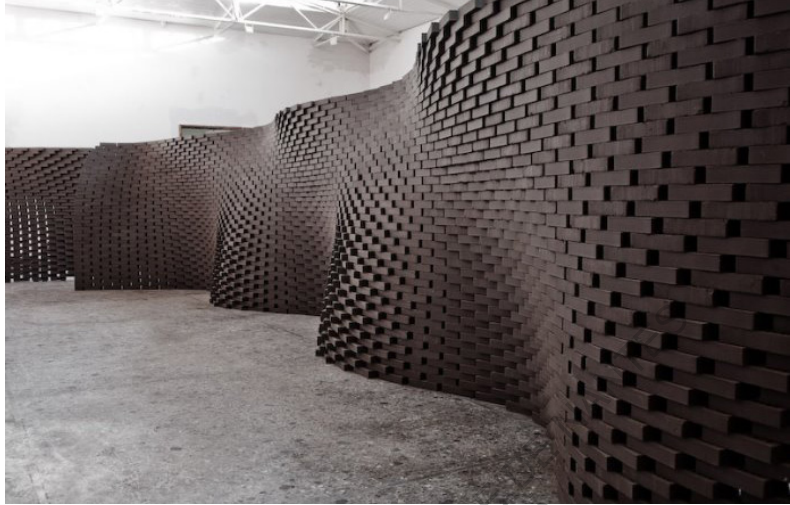


fig.24 Mur de brique assemblé grâce à un bras robotisé, Gramazio & Kohler «structural oscillations», installation pour la 11ème biennale de Venise.

sera décomposé en un grand nombre de couches successives, que l'imprimante interprétera en ordre de mouvements sur un plan en 2 dimensions afin de matérialiser ces couches les unes après les autres. (Fabrication additive) Une fraiseuse 5 axe pourra se baser sur le même fichier, mais les ordres de déplacements s'exécuteront dans les 3 dimensions pour permettre à la tête de la fraiseuse de creuser un volume pour aboutir à la forme prévue, prenant toutefois en compte que le volume initial qui sera creusé doit excéder en proportion le volume final. (Fabrication soustractive) Partant de cette dernière observation, on constatera également que certains procédés peuvent se dérouler sans presque aucune perte de matière, alors que d'autres généreront obligatoirement une quantité de matière qui ne sera pas utilisée. L'impression 3D est la technique qui aujourd'hui comporte le moins de perte, puisque seule la matière nécessaire à la formation d'un volume est utilisée. Même si certains logiciels permettent aujourd'hui d'optimiser la perte de matière (procédés de « Nesting »), la découpe laser par exemple génère quant à elle une quantité non négligeable de matière qui sera invariablement jetée.

Le recours aux méthodes de fabrication digitale requiert la maîtrise



de 3 étapes d'investissement intellectuel distinctes<sup>44</sup>.

Dans un premier temps l'utilisateur doit être en mesure d'encoder un environnement numérique pour lequel il développe un langage spécifique. Cet environnement peut prendre la forme d'un logiciel de DAO permettant de dessiner en 2D ou en 3D et qui intègre un langage permettant d'explorer cet espace numérique, par exemple en donnant la possibilité de générer des lignes, surface ou volumes. Dans un deuxième temps, il est nécessaire de maîtriser la dérivation du code initial. En d'autres termes, il faut être capable de manipuler le langage mis à disposition pour créer des assemblages dérivés du code initial. Cela peut se traduire très simplement par le fait de dessiner un angle droit formé de 2 lignes dans un logiciel de DAO, ou des manipulations plus complexes telles que les opérations booléennes (Addition et soustraction de formes imbriquées). Enfin, il faut être en mesure de pouvoir traduire un modèle informatique en séquences d'instructions destinées à une machine de fabrication digitale particulière.

Aujourd'hui un architecte bénéficie de l'ensemble des connaissances et développements accumulés pour chacune de ces 3 étapes. Il n'est pas nécessaire pour un architecte d'encoder lui-même un environnement numérique mais peut directement utiliser un large éventail de logiciels lui permettant d'explorer de simples ou complexes options de design. Grâce à des ordinateurs de plus en plus puissants, ainsi que des machines de prototypage sophistiquées, un architecte peut s'investir dans la réalisation d'objets très complexes avec finalement très peu, voir aucune notion de programmation informatique. D'une certaine manière, c'est la recherche formelle qui a été impactée par les outils numériques

---

44 KOLAREVIC Branko, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. Taylor & Francis, New York, 2005, p.79

qui parfois poussent les architectes à explorer les possibilités de fabrication digitale pour les formes complexes.

Nous dissociérons deux méthodes constructives différentes parmi celles qui auront sans aucun doute un impact notable sur les moyens de construire l'architecture, mais également de la penser. Deux branches dont la philosophie diffère, mais deux branches qui aujourd'hui portent les promesses de révolutions majeures sur les chantiers et dans les écoles. Car l'apparition de nouveaux procédés constructifs impacte directement la manière dont nous imaginons pouvoir construire un édifice, et peut donc avoir un impact sur sa conception même.

En premier lieu nous nous concentrerons sur l'impression 3D dans ce qu'elle offre de plus vaste, en cela qu'elle constitue une méthode de fabrication digitale permettant de déformer la matière et de la réorganiser de manière extrêmement libre. Elle offre aux architectes l'opportunité d'élargir les possibilités constructives, tant sur le plan de la faisabilité que de la gestion d'un chantier.

Dans un deuxième temps nous aborderons les développements et recherches en cours dans le domaine de la robotique. Les bras robotisés qui ne sont qu'un exemple parmi d'autres de systèmes robotisés applicables à l'architecture, font désormais partie intégrante de la pédagogie de certaines écoles d'architecture ailleurs dans le monde, et de plus en plus d'agences se dotent de laboratoires de recherche équipés de tels bras robotisés. Assez simplement car ils sont de formidables ouvriers non-spécialistes pouvant s'adapter à un nombre pour l'instant indéfini de tâches différentes.

Le développement d'outils de fabrication permettant la mise en œuvre de formes toujours plus complexes du point de vue de leur description mathématique entraîne nécessairement des initiatives plus complexes sur les phases de conception. On a toujours observé en architecture, une forte relation entre la représentation et la production, et on constate aujourd'hui une plus grande accessibilité à des outils complexes, et donc à la matérialisation de formes complexes. D'une certaine manière, c'est aussi la réalisation de ces formes complexes qui mobilise les architectes vers la recherche sur la fabrication digitale.

**« [...] les architectes dessinaient ce qu'ils pouvaient construire, et construisaient ce qu'ils pouvaient dessiner. Cette réciprocité entre les moyens de représentation et de production n'as pas entièrement disparu avec l'âge du numérique. Connaître les capacités de production et la disponibilité d'équipement particuliers de fabrication contrôlés par le numérique permet aux architectes de dessiner spécifiquement selon les capacités de ces machines. »<sup>45</sup>**

Les capacités de production des architectes sont donc aujourd'hui et comme toujours, fortement influencées par le développement des techniques de production dans le monde physique. Si l'affaire concerne d'une part les architectes déjà en activité, il semble qu'elle soit encore plus importante pour les architectes en devenir. Les générations en cours d'apprentissage ont tout intérêt à bénéficier de solides connaissances concernant la fabrication digitale ainsi

---

45 KOLAREVIC Branko, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. Taylor & Francis, New York, 2005, p.32

qu'à intégrer les logiques inhérentes à la manipulation de certaines technologies, pour à terme, orienter le plus tôt possible les études d'architecture sur une voie collant au plus près aux nouveaux enjeux de l'architecture contemporaine.

## **1) La fabrication digitale dans l'enseignement**

De la même manière qu'il me semblait important d'aborder la numérisation croissante des méthodes de conception et de communication par la porte du monde étudiant, la question de l'introduction des nouvelles méthodes de fabrication digitale dans les pédagogies des écoles d'architecture me semble tout aussi cruciale. La France n'étant pas en reste concernant l'apprentissage et la mise en pratique des technologies de CAO, les écoles d'architecture françaises accusent pourtant un retard dans l'intégration pédagogique des nouvelles technologies liées à la construction. Peut-être le retard que nous connaissons s'explique-t-il d'abord par l'investissement financier conséquent que représentent ces nouvelles machines sophistiquées. Financement dont l'apport pédagogique ne doit pas encore sembler suffisant en France, tant la recherche dans ces domaines peine à décoller. Pourtant ce sont bien les écoles d'architecture qui constituent la meilleure chance de faire avancer la recherche dans le domaine de la fabrication digitale.

Dans un premier temps donc, la transformation des pédagogies des écoles d'architecture nécessite l'achat d'équipements coûteux, et plus généralement la mise en place d'ateliers de fabrication. Parfois ces investissements financiers ne relèvent pas que de la bourse des écoles. L'école d'architecture de Nantes s'est par ailleurs dotée très

récemment d'une fraiseuse 5 axes de grande dimension, dont une grande partie sinon la totalité provient de fonds extérieurs à l'école.

Si le financement de ces outils constitue un investissement trop conséquent, les universités peuvent aussi envisager la collaboration avec d'autres filières étudiantes et encourager une forte dynamique autour de ces ateliers. Pourquoi ne pas imaginer par exemple la mise en commun de ces onéreuses machines entre plusieurs filières recoupant des domaines d'études proches. C'est en tout cas le principe de base des « fablabs » (Laboratoires de fabrication) dont l'une des forces majeures réside dans le fait de mettre à disposition des machines de production digitale très sophistiquées au plus grand nombre, créant ainsi une synergie autour des nouvelles méthodes de fabrication et de conception numérique.

### **L'apprentissage par le «faire»**

On imaginerait difficilement de nos jours une logique pédagogique dans les écoles d'architecture d'où serait exclue la pratique du « projet architectural ». L'apprentissage de la discipline du projet d'architecture n'est pas envisageable sans mise en conditions réalistes, ou du moins permettant aux étudiants de développer et mettre en relation le savoir acquis dans d'autres disciplines enseignées à travers celle du projet. Pourtant cette mise en pratique concrète des notions fondamentales en architecture ne se poursuit que trop rarement vers la mise en œuvre d'objets construits à grande échelle. Les étudiants français ne sortent que pour peu d'entre eux des écoles d'architecture en ayant eu l'opportunité de mettre régulièrement à profit leur savoir de leurs propres mains.

Dans un article dans le journal Le Monde<sup>46</sup>, deux enseignants de l'école d'architecture de Paris-Malaquais, Christian Girard et Philippe Morel, discutaient de la nécessité pour l'enseignement architectural français de se réformer et d'intégrer davantage à la pédagogie l'apprentissage et le développement de méthodes de construction innovantes et de se doter d'outils leur permettant de les mettre en pratique. Leur vision du changement à effectuer dans l'enseignement peut parfois sembler réducteur comme lorsqu'ils affirment « qu'un smartphone bien programmé est supérieur à une majorité d'architectes », encore aurait-il fallu qu'ils précisent pour quel type de tâche et avec quel degré d'autonomie pour la machine. Néanmoins, leur point de vue sur l'enseignement architectural tel qu'il a cours à l'heure actuelle, ainsi que sur la manière dont il devrait s'effectuer semble s'accorder avec l'apparition progressive et inéluctable des outils de fabrication numérique. La profession en forte mutation qui attend les étudiants à la sortie des écoles nécessite de donner aux étudiants eux-mêmes, et ce le plus tôt possible, les outils pour leur permettre de réinventer la profession d'architecte, ils sont notamment à l'origine du département « Digital Knowledge » (Savoir Numérique) à l'ENSAPM.

Nancy est une des rares écoles en France à permettre à une section de recherche de mettre en place les moyens de s'insérer dans ce continuum.

De telles initiatives font figure d'exception en France mais deviennent de jour en jour plus cruciales si nous ne souhaitons pas laisser une génération d'architectes sur le carreau. Lorsque tous

---

46 «Nous pensons qu'il faut dynamiter la façon d'enseigner l'architecture en France». Disponible sur [http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/24/nous-pensons-qu-il-faut-dynamiter-la-facon-d-enseigner-l-architecture-en-france\\_5150594\\_4401467.html](http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/24/nous-pensons-qu-il-faut-dynamiter-la-facon-d-enseigner-l-architecture-en-france_5150594_4401467.html) [Consulté le 7 Octobre 2017]

les interlocuteurs de l'architecte parleront une langue qu'il n'a pas apprise, nous pointerons d'abord du doigt les écoles d'architecture pour comprendre d'où vient le problème. « La France fait figure de parent pauvre dans la recherche d'un continuum numérique. »<sup>47</sup>

### **Les écoles européennes et le retard français**

Les universités Allemandes, Suisses, Hollandaise ou encore Britanniques, sont réputées pour prodiguer un enseignement architectural plus technique qu'en France. Il n'est donc pas surprenant de constater que c'est dans ces pays que certaines universités sont devenues le foyer de véritables laboratoires de recherche sur la fabrication numérique. Ces unités de recherche se développent au sein des filières architecturales comme nous l'avons vu avant à Paris Malaquais, ou encore à Nancy, mais c'est sans commune mesure avec la réputation de certains programmes, comme, entre autres, à l'ETH de Zurich ou à l'université technique de Stuttgart.

#### **Gramazio & Kohler à Zurich**

Les noms de Fabio Gramazio et Matthias Kohler font figure de référence incontournable lorsqu'il s'agit d'aborder la recherche universitaire sur la fabrication numérique. Les deux architectes ont ouvert en 2005 à l'ETH de Zurich, le premier laboratoire de recherche architecturale au monde dédié à la robotique. Leurs recherches permettent aujourd'hui à d'autres universités de lancer de pareils laboratoires avec des bases solides et fournissent de

---

47 BERTHIER Stéphane, «Éléments simples, formes complexes», *d'architectures*, Septembre 2017, n°256, p.55

précieux éléments de réponses sur les possibilités offertes par la robotique en architecture.



fig.25 Certains ateliers de fabrication numérique, comme ici à Zurich, deviennent de véritables laboratoires de recherche scientifique.

« L'espace y a été pensé pour qu'étudiants, doctorants, professeurs, architectes, chercheurs d'autres disciplines se croisent, entre deux maquettes en trois dimensions ou à l'occasion d'une présentation de thèse. Tout est vaste, ouvert, transparent et en chantier permanent. Ainsi il n'est pas rare que des ingénieurs de l'ETH, dont les bâtiments sont situés juste en face, viennent rendre visite aux architectes ou tout simplement flâner. »<sup>48</sup>

L'objectif plutôt réussi dans le cas présent et que nous évoquons plus haut, consiste à créer une synergie autour de ces ateliers et ne

---

48 L'architecture du futur s'invente à Zurich, [Disponible sur http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/14/zurich-laboratoire-de-la-robotique-architecturale\\_5144442\\_4401467.html](http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/14/zurich-laboratoire-de-la-robotique-architecturale_5144442_4401467.html) [Consulté le 20 Octobre 2017]



surtout pas en faire des entités déconnectées des autres disciplines qui pourraient graviter tout proche.

On pourrait penser que la recherche en robotique et dans la fabrication digitale se fait au profit uniquement de la matérialisation de formes complexes. Mais l'usage des nouvelles technologies dans le seul but de matérialiser des formes complexes n'est pas intéressant pour les enseignants de l'ETH à Zurich. L'enjeu auquel Gramazio & Kohler tentent d'apporter un début de réponse est de savoir si oui ou non les technologies numériques peuvent impacter en profondeur la pratique architecturale et la mise en œuvre des matériaux.



fig.26 ETH Zurich, expérimentation sur des voiles de béton armé.

La fig.26 donne à voir un pavillon qui a été entièrement réalisé dans l'enceinte de l'université par les enseignants et les élèves du laboratoire. Même si les résultats ne sont pas toujours transposables directement dans la réalité (Ce projet nécessitera encore quelques

mois de travail avant de voir le jour à l'extérieur), ils posent les bases qui permettront à de futures recherches d'enrichir ces procédés et donne dans le même temps aux étudiants la capacité de se doter de solides compétences au regard de tels procédés. De telles initiatives requièrent des compétences inédites pour les architectes comme la manipulation de langages informatiques qu'ils soient textuels ou visuels comme dans Grasshopper, car déjà implémentés pour ces machines, et demandent également aux étudiants d'anticiper la réalisation et la faisabilité constructive de ces pavillons.

### **Achim Menges à Stuttgart**

L'université de Stuttgart présente de son côté l'aboutissement de travaux réalisés conjointement par l'Institute of Computational Design (ICD), conduit par Achim Menges ainsi que l'Institute for Building Structures (ITKE) dirigé par l'ingénieur Jan Knippers. L'objectif de cette mise en commun des savoirs et compétences de chacune des filières vise à produire chaque année, un pavillon s'inscrivant dans la lignée du « chef-d'œuvre », « artefact d'exception qui conclut et synthétise les apprentissages, bien connu par les compagnons charpentiers »<sup>49</sup>. Comme nous l'évoquions dans la première partie de ce mémoire concernant l'emploi de logiciels de modélisation paramétrique, l'emploi des outils de conception numérique tournés vers la programmation informatique établissent de nouveaux ponts entre les architectes et les ingénieurs, leur permettant de dialoguer et d'interagir ensemble au sein des mêmes environnements numériques. Le résultat produit par cette forte relation à Stuttgart aboutit souvent à des œuvres étonnantes par leur complexité et l'innovation qui se cache derrière les procédés de fabrication et de mise en œuvre.

---

49 BERTHIER Stéphane, « Éléments simples, formes complexes », *d'architectures*, Septembre 2017, n°256, p.61

Les fig.27 et fig.28 présentent le pavillon qui a été réalisé en 2015 et son procédé de fabrication. Malgré le degré de sophistication de ces outils, il est parfois surprenant de constater qu'ils sont employés en vue d'imiter ou de reproduire des phénomènes ayant cours dans la nature.



fig.27 Research Pavillion 2014-2015, Achim Menges



fig.28 Procédure de fabrication

Pour la conception et la réalisation du pavillon, une équipe d'architectes et de scientifiques a étudié le comportement d'une araignée d'eau lorsqu'elle construit son nid subaquatique, et plus particulièrement les trajectoires de dépôt de son fluide organique

pour le construire. Leurs observations ont ensuite été traduites sous forme d'algorithmes, conduisant à une modélisation 3D, finalement traduite sous forme de commandes numériques traitées par un bras robotisé.

**« Malgré la sophistication sans cesse croissante des outils synthétiques et numériques, c'est le monde naturel qui capte l'imagination des concepteurs avant-gardistes d'aujourd'hui. En regardant la nature comme un enseignant plutôt que simplement comme une source de matières premières, les pionniers du mouvement émergent de la biomimétique développent des méthodes de conception et des matériaux pour créer des bâtiments intelligents qui imitent la vie elle-même. »**<sup>50</sup>

L'implémentation de programmes de recherche sur la robotique dans les universités permet aussi une liberté d'action qui n'aurait peut-être pas lieu dans des environnements professionnels, où le résultat attendu doit répondre à un certain cahier des charges. Vraisemblablement donc, ce pavillon nous prouve l'importance de donner aux universités les moyens de cette production, afin que les premières pierres venant bâtir le socle des recherches en fabrication numérique bénéficient d'une plus grande marge de manœuvre. Nous verrons plus loin dans la partie consacrée à la robotique que cette innovation est possible essentiellement par la nature profondément versatile des robots, qui ne sont pas conçus pour répondre à une tâche précise mais peuvent s'adapter à une infinité de tâches différentes. L'impression 3D quant à elle, démontre sa versatilité dans la matérialisation même de la matière.

---

50 BROWNELL Blaine and SWACKHAMER Marc, *Hyper-Natural: Architecture's New Relationship with Nature*, Princeton Architectural Press, Collection Architecture Briefs, 2015, 176 p.

## 2) L'Impression 3D

Le domaine de l'impression 3D regroupe un ensemble de méthodes de fabrication numérique qui s'est fortement diversifié en seulement quelques années et dont nous commençons à ressentir l'impact dans toutes les branches industrielles du monde. Alors que ces nouvelles techniques révolutionnent nos industries, elles font encore figure de gadget dans le milieu architectural. Car le problème majeur auquel se confronte l'impression 3D vis à vis de l'architecture est un problème d'échelle. Bien que nous commençons tout juste à entrevoir des possibilités plus vastes pour ces techniques, elles se cantonnent pour l'instant à remplacer l'acte manuel dans la construction des maquettes d'architecture ou de prototypes à petite échelle. L'enjeu qui attend le secteur de la construction dans les années à venir sera de permettre à ces techniques de constituer de véritables alternatives constructives dans le futur.

De Mars à Juin 2017 se tenait au Centre Pompidou à Paris une exposition qui réunissait une quarantaine de jeunes artistes, designers et architectes, précurseurs de l'impression en 3 Dimensions. L'exposition se présentait notamment au travers des

questionnements suivants, qui à mon sens résumant parfaitement les enjeux auxquels nous confronte l'impression 3D :

**«Quel est le statut de l'auteur à l'ère de la production d'objets « non standards », à la fois uniques et produits industriellement ? Quel est le statut de cet objet « imprimé » en 3D, tout à la fois objet du quotidien, objet technologique, œuvre d'art, objet de design, prototype d'architecture ? Comment expliquer sa généralisation à l'ère du numérique à tous les domaines de production ?»<sup>51</sup>**

Nous employons les termes d'impression 3D comme s'il s'agissait d'une seule et même pratique, mais son emploi recoupe des situations, des matériaux et des échelles très différentes pouvant être aussi éloignés l'un de l'autre que le sont la sidérurgie et l'ébénisterie . Les procédés d'impression de matières plastiques (extrusion de matière chauffée) n'ont pas grand-chose à voir dans leur mise en œuvre technique d'impression 3D pour le métal (Fabrication additive par frittage laser), même si l'objectif est toujours d'empiler des couches de matière les unes sur les autres.

L'impression 3D repose toujours sur le principe de fabrication additive, principe de matérialisation permettant de déformer et de modeler la matière à une très petite échelle, généralement de l'ordre du dixième ou du centième de millimètre, dans le but de la réassembler plus librement par couches successives et de permettre de donner forme à des modèles 3D dont la complexité géométrique aurait difficilement pu être matérialisée avec d'autres procédés de fabrication.

---

<sup>51</sup> Disponible sur <https://www.centrepompidou.fr/cpv/ressource/cEo9Br4/rA09oKd>  
[Consulté le 03 Décembre 2017]

## Construire l'impossible

Les technologies d'impression 3D permettent aujourd'hui de matérialiser de très grandes complexités morphologiques par les moyens d'un processus finalement très simple d'un point de vue conceptuel, mais qui a dû attendre un certain niveau de développement technologique afin de pouvoir être mis en œuvre.

Les fig.29 et fig.30 montrent deux objets conçus et imprimés en 3D par Benjamin Dillenburger et Michael Hansmeyer, tous deux architectes et enseignants chercheurs à l'ETH de Zurich. De l'aveu des architectes il est certain que « même avec les meilleurs logiciels, l'architecte ne peut pas dessiner ces objets, ni même les imaginer »<sup>52</sup>. L'objet imprimé résulte d'une telle complexité morphologique qu'aucun esprit aussi entraîné soit-il ne pourra jamais, selon toute vraisemblance, imaginer, dessiner et construire ce type d'œuvre sans l'aide d'un programme informatique. Le modèle informatique qui a permis d'imprimer cette grotte est en effet constitué de plusieurs milliards de facettes, dont l'emplacement résulte d'un algorithme complexe. Sans un programme de modélisation algorithmique et l'impression 3D, une telle complexité n'aurait jamais pu voir le jour. De telles réalisations questionnent les limites de ce que nous pouvons, et ne pouvons pas faire, et remettent également en cause les compétences qu'il est possible d'acquérir au cours d'un enseignement architectural, notamment en termes de logiques de programmation.

Dans l'ouvrage *Rapids 2.0*, les auteurs décrivent les processus de fabrication par impression 3D comme le moyen nécessaire à la réalisation de designs intégrant toujours plus de paramètres

---

52 L'architecture du futur s'invente à Zurich, [Disponible sur http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/14/zurich-laboratoire-de-la-robotique-architecturale\\_5144442\\_4401467.html](http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/14/zurich-laboratoire-de-la-robotique-architecturale_5144442_4401467.html) [Consulté le 20 Octobre 2017]

extérieurs pouvant être liés à des facteurs environnementaux et deviennent dès lors très complexes dans la mise en relation entre les données informatiques et la matière.

**« La forme est différenciée et permet l'émergence d'un processus qui intègre les conditions structurelles, environnementales et contextuelles et qui à terme dirige et exécute la forme, la force et la porosité des éléments de construction. La fabrication additive est une technologie fournissant les moyens de matérialiser ces concepts de design ambitieux. »**<sup>53</sup>

Les possibilités sont vastes pour des matériaux donnés et des échelles relativement restreintes. Mais la question qui se pose aux architectes est celle de savoir comment transférer ces compétences à l'architecture, en dépassant l'échelle architecturale du prototype.

### **Vers une véritable alternative constructive à grande échelle**

Dans les années qui viennent nous assisterons sans doute à une diversification de la fabrication dans son échelle et dans les matériaux utilisables, ainsi qu'à des coûts déclinant au fur et à mesure que les recherches dans le domaine de l'impression 3D avancent. Les recherches de Benjamin Dillenburger et Michael Hansmeyer préfigurent cette diversification des échelles applicables à l'impression 3D. Si leurs travaux demeurent très expérimentaux vis à vis de l'architecture, on dénombre de plus en plus de projets qui tentent de répondre directement à la question de l'utilisation de l'impression 3D en architecture à des échelles habitables.

---

53 KNAACK Ulrich, DE WITTE Dennis, MOHSEN Alamir, TESSMANN Oliver, BILOX Marcel, Rapids 2.0, nai010 Publishers, Rotterdam, 2016, p.13.





fig.29 Benjamin Dillenburger & Michael Hansmeyer «Digital Grotto»



fig.30 Arabesque Wall, Benjamin Dillenburger & Michael Hansmeyer, 2015

La volonté principale de tous ces projets est de prouver que la fabrication additive pourra dans très peu de temps représenter une alternative réaliste pour nos constructions et aura alors dépassé le seuil de l'expérimentation. Puisqu'il est plus parlant de s'appuyer sur des exemples concrets, nous présenterons ici quelques projets d'ampleur et de nature différente, mais qui portent en eux les promesses de voir aboutir de véritables méthodes constructives transposables à nos futurs chantiers.

### **3D printed Canal House, DUS Architects**

Ce prototype a été dessiné et construit au bord d'un canal d'Amsterdam par l'agence néerlandaise DUS Architects. Cette cabine est en soit une réalisation majeure et complète, même au regard de sa petite taille. Elle fait en outre partie d'un projet plus vaste initié par la même agence d'architecture appelé « 3D Print Living » qui a été lancé par DUS Architects afin d'explorer l'utilisation de l'impression 3D pour une architecture sur mesure abordable et durable dans les environnements urbains. La cabine a en outre été imprimée avec un bioplastique durable qui peut être déchiqueté et réutilisé en fin de vie de la cabine pour de nouveaux designs.

En plus d'éviter des pertes de matière au moment de la mise en œuvre, le matériau utilisé est entièrement recyclable et est essentiellement produit à base de plante. C'est peut-être vers ce type de durabilité que l'impression 3D peut emmener l'architecture. Elle n'est pas seulement le médium d'un renouveau architectural par la complexité morphologique, elle est surtout très prometteuse du point de vue du développement durable et de l'économie de moyens et de matières. Le biomatériau utilise notamment l'huile de lin comme composant principal.



fig.33 DUS Architects, 3D printed Canal House, 2014



fig.32 Détail de l'avancement de l'impression de l'enveloppe



fig.31 Le prototype permet d'envisager la construction d'un plus grand module

### **3D printed bridge, MX3D**

En Juin 2015, la start-up néerlandaise MX3D faisait beaucoup de bruit en annonçant la construction d'un pont enjambant un canal à Amsterdam, et que celui-ci serait entièrement construit à l'aide de l'impression 3D. La technique employée est en fait la rencontre entre un bras-robotisé et une imprimante 3D. Un bras robotisé issu de l'industrie, et dont nous développerons les caractéristiques dans la partie suivante, a été équipé d'une tête d'impression permettant d'imprimer des couches de métal, et n'était pas limité par l'orientation de la couche à imprimer. Cela permet au Robot d'avancer sur le pont à mesure que se dernier se construit.

Ce projet démontre que malgré la complexité morphologique grandissante de certains projets architecturaux, nous serons demain en mesure de les construire au moyen des nouvelles méthodes de fabrication numérique. Les recherches en cours visent des types biens différents de procédés constructifs et nous amèneront demain à disposer d'autant de techniques de fabrication numérique que d'outils permettant de concevoir en premier lieu.

### **Yhnova, TICA Architectes**

Une initiative locale cette fois-ci, une des premières maisons dont la structure et l'isolation seront imprimées en 3D et dont la construction est actuellement en cours à Nantes. Conçu par TICA Architectes, l'idée de mise en œuvre est similaire au pont de MX3D, car les architectes ont imaginé la construction des murs de la maison grâce à l'utilisation d'un bras articulé équipé d'une tête d'extrusion. Néanmoins cette tête d'impression permet cette fois-ci de projeter de la mousse expansive qui servira de coffrage au



fig.34 Prototype de pont imprimé en 3D, MX3D, 2015. Le bras ( en blanc sur la photo) matérialise à la fois le pont et le support sur lequel il avance.



fig.35 Projection du pont une fois terminé.

béton une fois durcie et d'isolant puisqu'il n'est pas retiré une fois le béton en place. Le procédé de mise en œuvre est dirigé à partir de la technologie Batiprint 3D développée par l'Université de Nantes.

Le problème majeur auquel sont confrontés les architectes et ingénieurs qui travaillent à la construction de la maison se trouve dans les infimes décalages auquel le robot peut être sujet et peut poser problème si la tête d'impression projette la mousse expansive avec un décalage même léger.

Une des grandes différences de l'impression 3D avec la robotique se trouve dans le point de départ de la matérialisation, le fichier qu'on utilise et la manière dont il a été généré. L'impression 3D est relativement permissive, on peut partir d'un modèle dont on ne comprend pas toutes les dimensions et tout de même être en mesure de l'imprimer, c'est par exemple le cas du Pavillon Digital Grotesque que nous avons vu plus haut. En revanche la robotique elle, nécessite que la conception soit mieux comprise en amont, que la relation entre les mouvements de la machine et la matière qu'elle manipule relève d'une prise en compte plus profonde. Dans ce cas, la robotique favorise une forme de renouvellement de la notion de tectonique en architecture, au travers des outils de conception et de fabrication numérique.



fig.36 Rendu informatique et projection de l'emplacement de la future maison

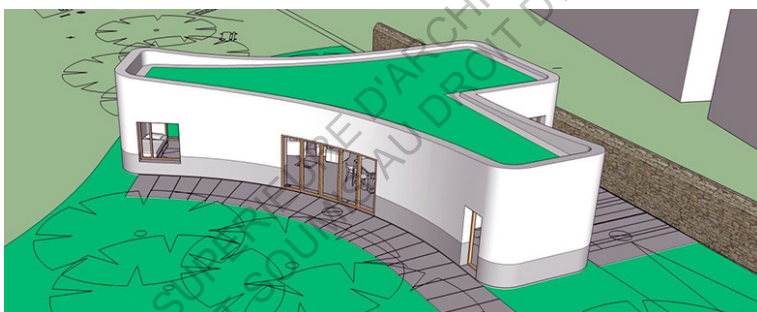


fig.37 La courbure des murs est rendue possible grâce au procédé d'impression 3D Bati-Print3D



fig.38 Le robot remplit les espaces prévus entre les réservations en bois.

### **3) Robotique: l'invention d'une nouvelle tectonique**

Depuis les premières tentatives d'introduction des robots dans l'industrie de la construction, les machines qui étaient issues du monde de l'industrie et que l'on tentait alors de transférer vers l'industrie de la construction n'ont eu jusqu'à présent que très peu d'impact sur les pratiques architecturales dans le monde. Dans les années 90, les premiers essais de procédés constructifs basés sur des robots conduisaient à produire des résultats extrêmement spécialisés et coûteux ayant une flexibilité très limitée.<sup>54</sup> Le but ultime pour lesquels on employait ces robots se limitait d'ailleurs bien souvent et uniquement à améliorer la productivité, tout en laissant des pans entiers de la recherche sur la robotique en architecture complètement fermés. Ces machines ne pouvaient dès lors pas être envisagées pour autre chose que leur rendement.

Cependant, l'essor des technologies numériques dans les agences d'architecture et leur démocratisation est progressivement en train de modifier cet état de fait, de même que l'utilisation de ces machines au sein de programmes universitaires est en train de

---

54 GRAMAZIO Fabio, KOHLER Matthias & WILLMANN Jan, «Authoring Robotic Processes», *Revue AD*, Mai/Juin 2014, Made by Robots, p.14-21



former progressivement les architectes à intégrer ces technologies au cours des processus de conception. Encore un fois, l'objectif de cette partie n'est pas de passer en revue l'ensemble des applications de la robotique pour la construction, mais bien de comprendre en quoi elles constituent une avancée pour nos méthodes de fabrication.

L'utilisation croissante des robots dans les processus de construction est intimement liée au développement des outils numériques, et nous permet aujourd'hui d'articuler de manière fondamentale les données et les matériaux dans nos méthodes de conception. Les processus sont alors développés sur la base de règles fixes, analysés, puis traduits sous forme de commandes pour la construction pratique. La relation nouvelle qui peut s'établir entre nos données informatiques, les logiques de construction architecturales et les matériaux ouvre la porte vers une redéfinition de la notion de tectonique.

Au regard d'une histoire de l'architecture contemporaine qui a favorisé l'exploration spatiale et formelle des programmes architecturaux, et relégué l'aspect constructif au second plan, les recherches de Kenneth Frampton sur la poésie de la tectonique en architecture<sup>55</sup> apportent un regard éclairant sur cette notion qui vise à mettre en évidence l'importance de la transformation et de la construction en architecture. Sans que nous réussissions à mettre le bon mot sur nos pratiques en pleine évolution, l'engouement pour la fabrication digitale représente pourtant un retour en force de cette notion de tectonique, notamment dans le lien désormais étroit entre données informatiques, structure et matière, que les nouvelles méthodes de fabrication numérique nous permettent d'explorer.

---

55 FRAMPTON Kenneth, *Studies in tectonic culture: The poetics of construction in the nineteenth and twentieth century architecture*, MIT Press, 1995, 448 p.

Yves Weinand et Hani Buri, enseignants à l'EPFL de Lausanne et ayant co-écrit l'ouvrage «The Tectonics of Timber Architecture in The Digital Age», pensent que les principes de discrétisation et de «saucissonage» de formes complexes sont intellectuellement insuffisants, et proposent au travers de leur enseignement une approche synthétique des questions morphologiques et des questions constructives.

**« L'intérêt renouvelé des architectes pour la Tectonique dérive donc d'un nouvel engouement pour la structure et pour la construction, et représente aujourd'hui une manière d'interroger la dialectique culturelle entre conception et construction. Elle nous ouvre à une réflexion sur l'expressivité constructive de l'architecture et nous permet de lire l'acte constructif non seulement comme un "fait matériel" mais aussi comme un fait intellectuel et artistique. »**<sup>56</sup>

Aujourd'hui les nouveaux outils de conception numérique, combiné avec les nouvelles techniques de fabrication digitale comme la robotique nous permettent de concevoir des méthodes de fabrication innovantes, dont la finalité serait l'expression d'une recherche structurelle honnête à travers laquelle la forme, les schémas statiques et les modalités constructives sont en adéquation.

Une des raisons pour lesquelles on acclame autant les robots aujourd'hui et pour lesquels on entrevoit un large potentiel pour réinventer cette nouvelle tectonique tient essentiellement à leur non-spécialisation.

---

56 MASTRORILLI Antonella, « La notion de Tectonique », Disponible sur [http://www.lille.archi.fr/ressources/20578/81/14mars19\\_semdoct.pdf](http://www.lille.archi.fr/ressources/20578/81/14mars19_semdoct.pdf) [Consulté le 3 Janvier 2018]

## Ouvriers versatiles

Une des caractéristiques principales qui prévaut à l'essor des robots appliqués à l'architecture est leur versatilité. Comme nos ordinateurs, ce sont des machines génériques qui ne sont pas nécessairement attachées à une fonction précise et peuvent donc être utilisées pour un grand nombre de tâches différentes. En outre, ils permettent de répondre aux exigences qui caractérisent les 5 types de fabrication digitale que nous avons vu plus haut, découpage en plan, fabrication soustractive, additive et formative ainsi que l'assemblage.

**« Plutôt que d'être limités dans leurs opérations à une gamme prédéfinie de leurs possibles applications, la "dextérité manuelle" des robots peut être librement désignée et programmée. Leur capacité de manipulation des matériaux peut être ajustée pour répondre à une intention constructive spécifique, à la fois sur le plan matériel et conceptuel. »**<sup>57</sup>

Selon Fabio Gramazio et Matthias Kohler, c'est précisément cette qualité versatile qui offre aux robots une liberté incroyable de mise en relation entre la machine et la matière qu'elle manipule et transforme. Cette liberté est facilement envisageable sur le plan conceptuel mais peut être difficile à concevoir dans le spectre d'applications qu'elle permet aujourd'hui de balayer, et il est nécessaire de réaliser que lister toutes les possibilités offertes par l'usage de bras robotisés est une tâche impossible. Cela reviendrait à lister de manière exhaustive une grande partie

---

57 GRAMAZIO Fabio, KOHLER Matthias & WILLMANN Jan, «Authoring Robotic Processes», *Revue AD*, Mai/Juin 2014, Made by Robots, p.14-21



fig.39 Robotic fabrication, ICD/ITKE Research Pavilion, 2011, Université de Stuttgart.



fig.40 ICD/ITKE Research Pavilion, 2011, Université de Stuttgart.

des outils manipulables par la main de l'homme, qu'ils aient déjà été inventés, ou soient en cours d'invention. Ces robots peuvent potentiellement peindre, dessiner, écrire, tailler de la pierre, poncer du bois, tisser des fibres, déplacer des objets et en assembler. Il n'y a pas de limite à ce que nous pouvons placer à la tête de ces bras. Leur versatilité apporte un degré de liberté tout à fait similaire à celui du bras humain, avec des capacités de précision, de force et de répétition inégalables.

En 2011, Le groupe de recherche informatique en architecture dirigé par Achim Menges à l'Université de Stuttgart poussait plus loin encore le degré de liberté offert par cette versatilité en combinant l'usage de 2 bras robotisés. Synchronisés, ces 2 robots étaient alors programmés pour tisser des modules de fibre de carbone qui furent ensuite assemblés pour former un pavillon unique en son genre.

Au-delà de la manipulation complexe des matériaux, il est possible d'imaginer plus concrètement que les robots deviennent dans peu de temps de réels ouvriers, et permettent entre autres de réduire la pénibilité du travail des ouvriers. Le rôle des ouvriers humains sur le chantier de demain pourrait alors consister pour partie à programmer et piloter de telles machines, et un des défis auquel se confronte la robotique à l'heure actuelle est de rendre ces robots plus autonomes et conscients de leur environnement immédiat. Comme nous l'avons vu avec la maison Yhnova de l'agence TICA, un léger décalage dans le positionnement du robot peut avoir des conséquences désastreuses lors de la mise en œuvre en fonction du type de technique employée. S'il était possible de rendre ces robots capables de corriger par eux-mêmes leurs trajectoires et commandes pour s'adapter à un changement dans leur environnement, nul doute que nous verrions alors de telles machines se promener bientôt sur nos chantiers.

Derrière cet objectif de détection encore difficile à atteindre se cache

l'ambition plus vaste de transférer les compétences acquises avec les robots au-delà de l'expérimentation, vers l'échelle architecturale. Ces robots sont pour l'instant essentiellement utilisés pour mener des recherches à petite échelle, mais certaines d'entre-elles visent à étendre le champ d'action potentiel de ces robots. Avec l'ensemble des recherches menées sur la fabrication digitale, on pourrait rapidement penser que les robots appliqués à l'architecture prennent nécessairement la forme anthropomorphe de ces fameux bras robotisés issus de l'industrie. Mais une récente expérience ayant eu lieu en France nous prouve que derrière des logiques de programmation similaires, les robots peuvent prendre des aspects très différents, et permettent alors de briser complètement la relation d'échelle qui était induite par la taille et les mouvements limités d'un bras robotisé.

### **Flight-assembled architecture, défier la grande échelle**

Une performance étonnante et inédite dans le monde vit le jour en 2011 sous l'impulsion du FRAC centre et coordonnée par les architectes suisses que nous présentions un peu avant, Fabio Gramazio & Matthias Kohler, ainsi que Raffaello d'Andrea, dont le travail concerne l'étude algorithmique et la mise au point de systèmes autonomes. L'objectif de cette performance était la construction d'une maquette à échelle 1/100 d'un édifice pouvant potentiellement être assemblé entièrement et de manière automatisée à l'aide de drones et de modules préfabriqués. Pendant plusieurs jours, 4 drones ont réalisé l'assemblage de cette maquette de 6 mètres de haut et même si elle est toujours une petite réalisation en soi, le principe même brise complètement le cadre qui s'était instauré autour de l'expérimentation robotique, en ouvrant le champ d'un possible contrôle de l'espace aérien par des robots, et donc potentiellement sans limite physique en termes de mise en œuvre.



fig.41 Flight Assembled Architecture-Gramazio & Kohler - FRAC Centre 2011

Dans la continuité de ce que nous avançons plus haut sur les processus informels permis par les logiciels de modélisation algorithmique, les architectes suisses vont plus loin dans la description des méthodes émergentes de fabrication numérique :

**«Le robot connecte la réalité digitale de l'ordinateur avec la réalité matérielle de l'architecture [...] à partir de maintenant, nous ne dessinons plus la forme qui sera au final produite, mais le processus de production même.»<sup>58</sup>**

Cela a notamment été le cas pour cette performance préparée à l'aide des drones car le processus de génération de forme était intrinsèquement lié à la méthode de construction inédite qui était déployée, une génération qui passait alors nécessairement par une étape de programmation informatique, et moins par un exercice de production formelle.

Une conséquence peu habituelle de l'utilisation de telles

---

<sup>58</sup> GRAMAZIO Fabio, KOHLER Matthias, Digital Materiality in Architecture, Lars Müller Publishers, Baden, 2008, p.8



fig.42 Armadillo Vault, 15e biennale de Venise

technologies et techniques de mise en œuvre est de pouvoir se passer momentanément de plans géométraux, et surtout au moment de la matérialisation physique des données numériques. C'est le cas lorsque les modèles informatiques renseignés, et précisément les maquettes numériques 3D, contiennent suffisamment d'informations pour être traduites en commande d'exécution pour une machine.

La question de la relation entre les données informatiques et leur matérialisation est la question centrale de toutes les expérimentations faisant usage de la fabrication numérique. Mais plutôt que de réinventer sans cesse de nouvelles manières de faire et d'assembler l'architecture, l'emploi de robots pour la construction permet désormais de faire appel à des savoir-faire existants, en les transposant directement dans le champ du numérique.

### **Vers un artisanat numérique?**

C'est la question que pose Stéphane Berthier dans un article de la revue d'architecture et il illustre son propos au travers du pavillon Armadillo Vault qui a été présenté à la 15<sup>e</sup> biennale d'architecture de Venise.



Le pavillon qui explore le savoir de la stéréotomie à travers un ensemble d'étapes de fabrication numérique, dont une partie est effectuée par des robots, laisse envisager que les outils numériques puissent nous libérer de la standardisation imposée par les industries au XXe siècle:

**«Mais ses outils de conception de sont plus ceux de l'art du trait et de l'épure; ceux de la taile ne sont plus la scie passe-partout, la pointerolle, la gouge ou le taillant. ils sont remplacés par une plateforme numérique homogène de conception et de fabrication, capable de répliquer tous les gestes d'antan, avec un niveau de précision, de rapidité et de complexité inégalable manuellement»<sup>59</sup>**

Dans cette ouverture vers l'artisanat se pose une question plus essentielle sur notre rapport aux robots, et les relations pour l'instant unilatérales que nous entretenons avec nos machines. Selon Gramazio & Kohler, un des futurs défis de la robotique résiderait dans la capacité future à engager le dialogue d'égal à égal avec nos machines, alors devenues plus intelligentes et capables de mieux reconnaître leur environnement, physique ou conceptuel.

Ils vont jusqu'à prédire que les architectes devront collaborer avec leurs machines, au lieu de simplement les utiliser pour une tâche programmée. Cette vision ouvre de nouvelles perspectives de conception architecturale, où les architectes dépasseraient une vision court-termiste consistant à n'utiliser les outils numériques qu'à posteriori de la démarche réflexive, pour les intégrer dans un mode de conception en aller-retours. D'une certaine façon, les méthodes de modélisation paramétrique préfigurent cet état de

---

59 BERTHIER Stéphane, *Éléments simples, formes complexes, d'architectures*, Septembre 2017, n°256, p.71

fonctionnement. Étant donné que ces scripts produisent parfois des résultats inattendus, c'est un peu comme si la machine nous donnait son avis quant au résultat à produire, l'architecte peut choisir d'ignorer cet avis, mais il peut aussi appuyer sa réflexion sur des états produits directement par la machine. L'architecte est encore le seul interlocuteur à pouvoir ajuster sa vision, la machine elle, n'est pas encore capable de ça. Mais si dans l'avenir, l'évolution technologique nous permettait d'entrer en dialogue avec nos outils de conception, il ne fait aucun doute que cette collaboration enrichirait les résultats des processus de conception architecturale de façon substantielle.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

# MAÎTRE D'OEUVRE DU CONTINUUM NUMÉRIQUE

Un espace-temps virtuel se dessine aujourd'hui au croisement de chaque compétence et outils des architectes, un tissu informatique continu reliant toutes les étapes, de la conception à la construction de l'architecture, un continuum numérique qui prend forme depuis les premiers pas à l'école d'architecture jusqu'à la longue consolidation de nos compétences professionnelles. Chaque phase de la vie d'un bâtiment est aujourd'hui régit par des outils informatisés et l'époque contemporaine donne raison à ceux capables d'englober un nombre grandissant de données relatives à la naissance, la vie, et la mort d'un bâtiment. Les technologies du BIM sont la matérialisation informatique et concrète de ce continuum numérique. Un ensemble de données informatiques décrivant l'architecture de façon quantitative et qualitative, des données interconnectées, et qui représentent la somme du travail d'un nombre toujours plus grand d'intervenants. Branko Kolarevic décrit ce continuum comme un changement de processus foncièrement plus important que l'apport de la recherche morphologique permises par les nouvelles technologies, transformant profondément la profession d'architecte, et par extension, toute l'industrie du bâtiment.

**« Le but ultime devient celui de construire un modèle quadridimensionnel encodé avec la totalité des informations qualitatives et quantitatives nécessaires au dessin, à l'analyse, la fabrication et la construction, en plus des informations temporelles nécessaires aux séquences d'assemblage. »<sup>60</sup>**

---

60 Kolarevic, B.: Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing, Taylor & Francis, New York, 2005, p.7

Dans l'industrie navale ce continuum existe depuis plus longtemps que dans l'architecture, où presque plus aucun plan n'est dessiné tant la relation entre le créateur et le fabricant est intriquée, et cette proximité permet le passage immédiat de la conception à la réalisation sans étape intermédiaire. L'architecture emprunte aujourd'hui à cette industrie la logique des maquettes numériques du BIM qui concrétisent en partie ce continuum. La bataille pour leur contrôle est plus cruciale que jamais, car au moment où se dessinent de nouvelles relations professionnelles et juridiques, l'architecte a tout intérêt à se saisir pleinement du tissu architectural numérique et de se réinsérer solidement dans toutes les phases de conception d'un bâtiment. L'architecte doit devenir bien plus qu'un simple « BIM manager » s'il veut pouvoir s'assurer le rôle de maître d'œuvre total.

Le maître d'œuvre tel qu'on l'entend à des époques désormais révolues possédait un champ de compétence plus vaste et un rôle plus prégnant que l'architecte contemporain, et pouvait notamment aller jusqu'à l'invention des procédés de fabrication nécessaire à la construction d'un édifice bien particulier. On peut notamment évoquer le cas de Gustave Eiffel, qui inventait un système constructif unique permettant de contrôler l'alignement de la tour éponyme au moment de sa construction. Non qu'un architecte contemporain n'aurait pas les moyens intellectuels et compétences pour réaliser pareille entreprise, mais le marché de la construction ne lui laissera que peu de marge de manœuvre dans ce domaine en lui imposant des procédés de fabrication éprouvés, moins sujets aux risques économiques liés à une mise en œuvre expérimentale. La profession de maître d'œuvre a connu dans le siècle qui nous précède, une désolidarisation de ses compétences et leur dilution dans un nombre toujours plus grand de corps de métiers rattachés à la construction.

Avec la renaissance est arrivée la nécessité d'externaliser l'information, là où le maître d'œuvre du moyen-âge basait la gestion d'un chantier essentiellement sur la communication orale. S'en est suivie une longue histoire de désassociation entre les architectes et autres corps de métier, due en partie à une complexité grandissante de l'architecture et des processus qui mènent à sa construction.

Aujourd'hui l'architecture n'est plus dessinée, mais calculée, et toutes ces informations permettent de décrire un bâtiment de manière quantitative et qualitative au sein d'un ensemble de données cohérentes et interconnectées.

La désintermédiation des champs de compétences architecturaux est certainement un des enjeux majeurs de l'architecte contemporain, et doit se manifester par la ressaisie d'un nombre de compétences plus important. Une pratique courante depuis quelques années consiste à engager cette désintermédiation par une fusion de différentes entités au sein d'une même structure. Architectes, ingénieurs, urbanistes et paysagistes (liste non-exhaustive) forment alors un groupement unique, réunissant les pratiques et compétences de chacun au service d'une vision commune. Il n'est pas insensé d'envisager que ces compétences soient demain le fait d'un nombre réduit d'acteurs, en particulier si l'enseignement architectural prend en compte l'importance croissante d'un apprentissage approfondi des disciplines connexes à l'architecture, permettant par exemple à l'architecte d'accroître son champ d'expertise à l'étude des structures ou à la manipulation des outils de fabrication digitale.

Par ces moyens seuls, et donc une transformation progressive des méthodes d'enseignement vers un contrôle accru des environnements numériques, l'architecte peut-il un jour espérer redevenir ce maître d'œuvre total, ayant alors repris le contrôle et

la pleine mesure de chacune des étapes qui mènent à construire l'architecture de notre époque : l'architecte maître d'œuvre du continuum numérique.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

# BIBLIOGRAPHIE

BRAYER Marie-Ange, et al. Flight Assembled Architecture, Éditions HXX, collection FRAC Centre, 2013, 167 p.

CARR Nicholas, The Glass Cage: How our computers are changing us, W. W. Norton & Company, New-York, 2015, 276 p.

DE KESTELIER Xavier, Computation Works: The Building of Algorithmic Thought, John Wiley & Sons, Mars 2013, 152 p.

FRAMPTON Kenneth, Studies in tectonic culture: The poetics of construction in the nineteenth and twentieth century architecture, MIT Press, 1995, 448 p.

GRAMAZIO Fabio, KOHLER Matthias, Digital Materiality in Architecture, Lars Müller Publishers, Baden, 2008, p.8

IWAMOTO Lisa, Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques, Princeton Architectural Press, 2009, 144 p.

KNAACK Ulrich, DE WITTE Dennis, MOHSEN Alamir, TESSMANN Oliver, BILOX Marcel, Rapids 2.0, nai10 Publishers, Rotterdam, 2016, 128 p.

KOLAREVIC Branco, Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing, Taylor & Francis, New York, 2005

LYNN Greg, et al. Archéologie du numérique, Sternberg Press et Centre Canadien d'Architecture, 2013, 408 p.

MENGES Achim and AHLQUIST Sean, Computational Design Thinking, John Woley & Sons, 2011, 224 p.

PALLASMAA Juhani, La main qui pense, Actes Sud, 2013, Paris, 151 p.

PALLASMAA Juhani, Le regard des sens, Actes Sud, Paris, 2010

PICON Antoine, Culture Numérique et Architecture: une introduction, Birkhäuser, 2010, Basel, 217 p.



RATTI Carlo, CLAUDEL Matthew, Open Source Architecture, Thames & Hudson, 2015

TEDESCHI Arturo, AAD Algorithms-aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper, Le penseur, 2014, 495 p.

SAKAMOTO Tomoko, From Control to Design: Parametric / Algorithmic Architecture, Actar Publishers, Septembre 2008, 280 p.

ZUMTHOR Peter, Penser l'architecture, Birkhäuser, 2008

## ARTICLES

BERTHIER Stéphane, éléments simples, formes complexes, D'architecture, Septembre 2017, n°256, p.45-71

GRAMAZIO Fabio, KOHLER Matthias & WILLMANN Jan, «Authoring Robotic Processes», Revue AD, Mai/Juin 2014, Made by Robots, p.14-21

W. FOK Wendy, Opening up the future of Open Source, Revue AD, vol n° 86 Mai 2016, Digital Property: Open-Source Architecture, p.116-125

Impression 3D, le champ des possibles, L'Architecture d'aujourd'hui, 2015, novembre, n° 409

## WEBOGRAPHIE

MASTRORILLI Antonella, « La notion de Tectonique », Disponible sur [http://www.lille.archi.fr/ressources/20578/81/14mars19\\_semdoct.pdf](http://www.lille.archi.fr/ressources/20578/81/14mars19_semdoct.pdf) [Consulté le 3 Janvier 2018]

Lerodiaconou Nick. "WikiHouse, An Online Building Kit, Shows How to Make a House in 24 Hours." FastCo Design, August 2011, Disponible sur <https://www.fastcodesign.com/1664873/wikihouse-an-online-building-kit-shows-how-to-make-a-house-in-24-hours>

L'architecture du futur s'invente à Zurich, [Disponible sur http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/14/zurich-laboratoire-de-la-robotique-architecturale\\_5144442\\_4401467.html](http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/14/zurich-laboratoire-de-la-robotique-architecturale_5144442_4401467.html)

<https://www.centrepompidou.fr/cpv/resource/cE09Br4/rA09oKd>

«Nous penson qu'il faut dynamiter la façon d'enseigner l'architecture en France». Disponible sur [http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/24/nous-pensons-qu-il-faut-dynamiter-la-facon-d-enseigner-l-architecture-en-france\\_5150594\\_4401467.html](http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/24/nous-pensons-qu-il-faut-dynamiter-la-facon-d-enseigner-l-architecture-en-france_5150594_4401467.html)

PARVIN Alastair, «Architecture by the people, for the people», Conférence TED Disponible sur [https://www.ted.com/talks/alastair\\_parvin\\_architecture\\_for\\_the\\_people\\_by\\_the\\_people](https://www.ted.com/talks/alastair_parvin_architecture_for_the_people_by_the_people)

OCTOBRE Sylvie. (2009), « Pratiques culturelles chez les jeunes et institutions de transmission : un choc de cultures », in Culture et Prospective [En ligne], Disponible sur : <http://www2.culture.gouv.fr/culture/deps/2008/pdf/Cprospective09-1.pdf>

Knikker Jan and Davidson Alex, In Defense of Renders and Trees On Top of Skyscrapers, [Disponible sur https://www.archdaily.com/783045/in-defense-of-renders-and-trees-on-top-of-skyscrapers-mvrdv](https://www.archdaily.com/783045/in-defense-of-renders-and-trees-on-top-of-skyscrapers-mvrdv)

Définition du BIM, Disponible sur <http://www.objectif-bim.com/index.php/bim-maquette-numerique/le-bim-en-bref/la-definition-du-bim>

MINKJAN Marc, «What this MVRDV rendering says about architecture and Media», Failed Architecture, Disponible sur <https://www.failedarchitecture.com/what-this-mvrdv-rendering-says-about-architecture-and-media/>[Consulté le 03 Décembre 2017

DE CHANT Tim, «Can we please stop drawing trees on top of Skyscrapers?», Archdaily, Disponible sur <https://www.archdaily.com/346374/can-we-please-stop-drawing-trees-on-top-of-skyscraper> <https://www.letemps.ch/suisse/2017/06/29/robots-batir-maison-futur>

[http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/14/zurich-laboratoire-de-la-robotique-architecturale\\_5144442\\_4401467.html](http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/06/14/zurich-laboratoire-de-la-robotique-architecturale_5144442_4401467.html)

<https://www.archdaily.com/884286/collaborative-virtual-reality-allows-design-professionals-to-meet-inside-the-model>

<https://www.dezeen.com/2016/05/25/virtual-reality-designing-architects-artisan-unreal-engine-htc-vive/>

<http://area.autodesk.com/blogs/journey-to-vr/vr-dreaming-hopes-and-predictions-for-where-virtual-reality-is-headed-in-2017>

<https://www.ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2017/10/innovative-construction.html>

<http://www.archdaily.com/787137/5-reasons-add-virtual-reality-to-architecture-workflow>

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Et bien que ce maigre travail soit très loin d'un véritable ouvrage de recherche, il est des auteurs dont les paroles vous traversent et vous donnent le courage d'écrire, aussi modeste soit la contribution qu'on apporte:

**«Si je devais écrire un livre pour communiquer ce que je pense déjà, avant d'avoir commencé à écrire, je n'aurais jamais le courage de l'entreprendre. Je ne l'écris que parce que je ne sais pas encore exactement quoi penser de cette chose que je voudrais tant penser. (...) Je suis un expérimentateur en ce sens que j'écris pour me changer moi-même et ne plus penser la même chose qu'auparavant».**

Michel Foucault, Dits et écrits, 1978

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

“J’essaie de me demander pour chaque technologie que j’utilise en quoi elle accroît ma puissance personnelle, de pensée, d’émotion, de liberté, et en quoi elle me mutile. Cette question, il faut vraiment l’avoir pour soi et collectivement.”

Alain Damasio