

UNE NOUVELLE PHYSIS DE L'ARCHITECTURE

MATTHIAS KOHLER
FABIO GRAMAZIO

Après le Platonisme de la Renaissance et le rationalisme industrialisé de la Modernité, la logique de l'habitat numérique demande d'être admise dans les annales de l'architecture. Si l'architecture se définit comme une pratique matérielle traduisant la logique culturelle d'une époque dans l'environnement physique de l'homme, alors l'ère numérique se manifestera par de nouvelles formes spatiales et structurelles. Une matérialité numérique¹ (« *digital materiality* ») émerge, où le jeu entre le matériau et les données n'est plus une simple conséquence du processus de conception. C'est plutôt une expression fondamentale de l'architecture elle-même. Et il ne s'agit pas là de hasard, d'addition ou d'embellissement, mais plutôt d'une interaction matérielle intensive qui peut être examinée et appliquée à une échelle architecturale.

Flight Assembled Architecture est le type de projet qui peut aujourd'hui être réalisé et ceci tient à des avancées récentes importantes qui changent la donne sur plusieurs fronts. Les évolutions de la technologie de l'information ont amené des progrès rapides dans notre

capacité à stocker, traiter et évaluer un grand nombre de données².

Une conséquence dans le champ de l'architecture est que la conception de bâtiment peut maintenant être enrichie par l'information. Les processus physiques et numériques peuvent être reliés. Pour nous, les architectes de l'âge numérique, les réalisations ne sont pas le seul produit de dessins et de plans, mais sont « renseignées » par leur relation à leur cadre conceptuel, leur matériau et leur processus de fabrication³. Ainsi l'interaction entre données et matériau – et entre la programmation et la conception – paraît-elle moins liée à une forme ou à une fonction a priori qu'à un processus profilé et spécifique.

Flight Assembled Architecture est notre mouvement le plus récent vers cette nouvelle « physis » de l'architecture, et la série d'expérimentations qui a précédé donne une idée nouvelle de l'architecte à l'ère de l'information. Ce dernier projet est à ce jour notre plus récente incarnation de la matérialité numérique. Il est au carrefour de plusieurs champs :

1 L'association des termes « numérique » et « matérialité » remonte à notre essai « Digital Materiality in Architecture » (Lars Müller Publishers, Baden, 2008). L'architecture qui associe deux termes en apparence aussi antinomiques est en mesure de générer des nouvelles réalités constructives et sensuelles où les données, le matériau, la programmation et la construction sont rendus interactifs par les techniques de fabrication numérique. Ceci permet non seulement de contrôler le processus de fabrication à travers les données de conception et ainsi de « renseigner » le matériau, mais aussi d'exprimer une nouvelle sensibilité, celle de l'ère numérique de l'architecture dont les caractéristiques sont une quantité inhabituelle d'éléments à la disposition déterminée, un niveau sophistiqué de détails et la présence simultanée de différentes échelles de conception.

2 De nombreux autres domaines ont profité de ces avancées. Au laboratoire de contrôle robotique de Raffaello D'Andrea, par exemple, de nombreux capteurs de données peuvent être utilisés pour améliorer le contrôle des quadricoptères volants utilisés pour la construction de *Flight Assembled Architecture*.

3 Voir Fabio Gramazio, Matthias Kohler, *Digital Materiality in Architecture*, Lars Müller Publishers, Baden, 2008.

A NEW PHYSIS OF ARCHITECTURE

MATTHIAS KOHLER
FABIO GRAMAZIO

In the Renaissance it was Platonism; in Modernity it was the rationality of the machine—today, however, it is the logic of the digital habitat that demands inclusion in the annals of architecture. If architecture is defined as a material practice in which the cultural logic of an era is translated into the physicality of the human environment, then the digital age will surely manifest itself in new spatial and structural forms. A *Digital Materiality*¹ is emerging, where the interplay between data and material is no longer simply a consequence of a design process. Instead, it is a fundamental expression of architecture itself. And this is no mere process of chance, addition or beautification. It is, rather, an intensive material interaction that can be investigated and implemented on an architectural scale.

The realisation of projects such as *Flight Assembled Architecture* is possible thanks to important and game-changing advances on a number of fronts. Recent developments in information technology have led to rapid improvements in our ability to store, process and evaluate large amounts of data.² The implication of these advances for the field of architecture is that building design can now be enriched with information. Digital and physical

processes can be linked to one another. As architects operating in the digital age, our designs are not just created through drawings and plans, but are “informed” by their relationship to their contextual framework, their materials, and their fabrication processes.³ In this manner, the interaction between data and material—and between programming and design—appears less bound to an a priori form or function than to a specific and designable process.

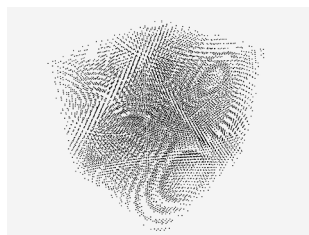
Flight Assembled Architecture is our most recent step toward this new “physis” of architecture, and is preceded by a series of research experiments that, together, reconceptualise what it means to be an architect in the information age. A synthesis of many fields, from architecture to information design to robotics control, this latest project is our most profound embodiment of *Digital Materiality* to date. In embracing process over product, relationships over geometry, degrees of freedom over fixed form, scaled reality over the scaled model, *Flight Assembled Architecture* undoubtedly takes the long tradition of Swiss building construction into uncharted territory.

1 The merger of the terms “digital” and “materiality” can be traced to our essay “Digital Materiality in Architecture” (Lars Müller Publishers, Baden, 2008). Combining seemingly ambivalent concepts—the digital and the material—architecture is enabled to generate new constructive and sensual realities where data and material, programming and construction are interwoven by the techniques of digital fabrication.

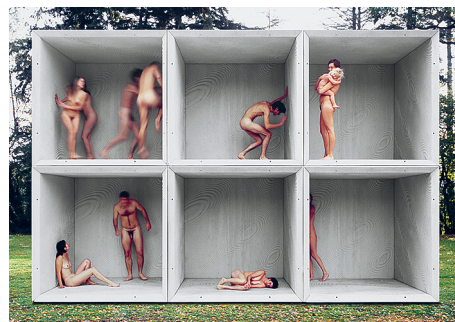
This allows not only to control the architectural manufacturing process through design data and therefore to “inform” material, but also to express a new sensuality in the digital age of architecture, being characterized by an unusually large number of precisely arranged elements, a sophisticated level of detail, and the simultaneous presence of different scales of formation.

2 Many other fields have profited from these advances; in the robotics control lab of Raffaello D'Andrea, for example, great quantities of sensor data can be harnessed to improve the motion control and decision-making in the flying quadrotors that are responsible for building *Flight Assembled Architecture*.

3 Cf. Fabio Gramazio, Matthias Kohler, *Digital Materiality in Architecture*, Lars Müller Publishers, Baden, 2008, pp. 8–9.



#1



#2

architecture, design informatique et robotique. En optant pour le processus plutôt que pour le produit, pour la relation plutôt que pour la géométrie, pour les degrés de liberté plutôt que pour la forme fixe, pour la réalité plutôt que pour le modèle à l'échelle, *Flight Assembled Architecture* entraîne résolument la longue tradition du bâtiment suisse sur des terres inconnues.

— Numériser la matérialité

Le concept de matérialité numérique nous est venu en partie en réaction aux rendus picturaux hyperréalistes des années 1990, lesquels suffisaient pour conférer une réalité à un projet architectural. Au contraire, notre désir était de concevoir des architectures physiques et ensuite de les « mettre au monde »⁴. Notre premier projet, *Interference Cube*, réalisé pour l'exposition Swiss Art Awards en 2003, est né de ce désir. Ce fut une intense exploration du numérique et de sa réalité physique, un des premiers projets pour lequel nous avons eu recours à un processus de production non-standard. → FIGURE #1 Notre concept consistait à distribuer des informations différenciées en trois dimensions dans un espace virtuel puis à les condenser en éléments architecturaux par le truchement d'une matrice de coffrage réalisée par fraisage CNC. Le prototype d'unité spatiale était un cube ouvert sur un côté. Au moyen d'un ordinateur, nous avons

placé ce cube dans un champ virtuel de forces algorithmiques aux intensités continuellement changeantes. Nous avons ensuite enregistré les forces affectant les surfaces du cube, les avons converties en ondes provoquant un relief sur un centimètre d'épaisseur à l'intérieur et les avons modelées en cinq matrices de coffrage haute résolution. Les surfaces, dès lors chargées en information, ont modifié radicalement l'espace intérieur du cube de 7 tonnes et se sont étendues au-delà de chacun de leurs côtés tous azimuts. Le spectateur semblait voir, de prime abord, des fractures visuelles aux côtés. Mais, en y regardant de plus près, il apparaissait au contraire que les motifs enjambaient délicatement ces côtés. Les surfaces internes devenaient des récepteurs qui exhibaient une donnée habituellement invisible. Un dialogue intensif s'instaurait entre l'espace formel et continu du champ de forces et la géométrie cartésienne du cube. Un aspect doux et inattendu du béton cohabitait

4 On peut citer d'autres exemples parmi lesquels la façade de briques non-standard de la *Gantenbein Vineyard* (Fläsch, 2006), assemblée au moyen d'un robot ; *The World's Largest Timepiece*, système d'illuminations de Noël pour la Bahnhofstrasse Zurich (Zurich 2003-2005) qui génère par l'algorithme des motifs d'éclairage diversifiés sur une bande de lumière continue de 1,1 km de long et composé de 275 tubes-ampoules réglables numériquement.

— The digitalisation of materiality

Our concept for a *Digital Materiality* came, in part, as a reaction to the hyper-real pictorial renderings of the 1990s, which were considered, at the time, to be sufficient for conceptualising an architectural project. Our desire, in contrast, was to design physical architectures, and to bring them "into the world".⁴ The *Interference Cube*, an installation which we implemented for the Swiss Art Awards exhibition in 2003, came out of this desire. One of our early projects, for which we resorted to a non-standardised production process, *Interference Cube* was a deep exploration of the digital and its physical tangibility.

→ FIGURE #1 Our concept was to distribute differentiated, three-dimensional information in virtual space and condense it, by means of CNC-milled formwork matrices, into physical, architectural elements. We created a cube with five closed sides as our prototypical spatial unit. Using a computer, we placed this cube into a virtual algorithmic force field with continuously changing intensities. We then registered the forces affecting the cube's surfaces and translated the forces as different wave densities into 1 cm surface relief, and milled them into five high-resolution formwork matrices. The surfaces, now loaded with information, radically altered the interior space of the seven-tonne cube and extended across all corners of the floor, walls, and ceiling. For the viewer, it seemed at first glance that there were visual fractures in the edges. Yet closer inspection revealed that the patterns were smoothly connecting the edges. The wall surfaces became receptors that displayed something that was normally invisible. An intensive dialogue was created between the continuous, procedural space of the force field and the Cartesian geometry of the cube.

The unexpectedly soft appearance of the concrete stood out against the raw world of pre-fabricated construction and its ordered, exterior aesthetics. By interactively combining digital and material realities, *Interference Cube* presented itself as an "interface" between our senses and the digital world.⁵

→ FIGURE #2

Wishing to bring this design paradigm to a larger scale, we rendered the *Interference Cube* as a virtual tower structure, abstract as a whole, and yet related to human scale its small-scale organisation. Individual spatial units were positioned in the air, imparting the project with a feeling of floating above the ground. In the resulting vertical structure, designed using the same force field as for the inner surfaces of the cubes, the boundaries between element and object became fluid; the two merged into one another and assumed their own particular "dimensionality". → FIGURE #3 This early collage clearly anticipated the potentials of large scale formations from modular

4 Other examples include the robotically fabricated non-standard brick façade for the *Gantenbein Vineyard* (Fläsch, 2006) or the Christmas lights *The World's Largest Timepiece* for the Bahnhofstrasse Zurich (Zurich, 2003-2005), algorithmically generating different light patterns by using a 1.1 kilometre long a continuous band of lights with 275 digitally controllable tubes of light.

5 It is now becoming clear that with the volatility of the material appearance and the digitalisation of the materiality we were reacting to a new sensibility, a new visual and altered perception, which had begun in the era of video and computers during the 1980s and which then effectively entered into architecture. This raises the question of whether or not these features entail a particular sensualist moment. Yet momentariness and appearance have always represented decisive criteria for architecture in the digital age, breaking through to new territory through the transfer of contemporary fabrication technologies. The *Interference Cube*, realised with the industry partners Wey Elementbau (concrete elements), Jura Cement (white cement) and CNC Dynamix (CNC milling), was photographed by Roman Keller for a contribution in *Du 742* magazine with the topic of "utopic building". Cf. Fanny Fetzter, "Schöner Wohnen im Plattenbau 2050", in *Du 742*, 2003.

avec le monde brut de la construction en préfabriqué et son esthétique extérieure ordonnée. Combinaison interactive du numérique et du matériel, *Interference Cube* se présentait comme une interface entre nos sens et le monde numérique ⁵.

→ FIGURE #2

Nous avons voulu porter ce paradigme de conception à une plus grande échelle, aussi avons nous adapté *Interference Cube* en une structure virtuelle de tour, d'aspect globalement abstrait, et dont les éléments unitaires maintenaient une dimension humaine. Des unités spatiales individuelles étaient positionnées dans l'air, l'ensemble semblait comme suspendu au dessus du sol. La structure verticale avait été profilée par le même champ de forces que celui des surfaces internes des cubes et, là aussi, les frontières entre objet et forces élémentaires étaient fluides ; objet et forces se fondaient l'un dans l'autre tout en gardant leur propre « dimensionnalité ». → FIGURE #3 Ce collage ancien annonce le potentiel des formations à grande échelle à partir d'agrégation de modules, telles que *Flight Assembled Architecture* dix ans plus tard.

— Du modèle au réel – Les performances d'une futurologie à l'échelle

Pour combler l'écart entre réalité numérique et réalité analogique, nous réalisons de nombreux modèles et prototypes architecturaux ; et ce, à des moments spécifiques du processus de conception afin d'identifier avec précision les principes en jeu de matérialisation, de structure et d'espace. Nos modèles et prototypes suivent leur propre cours et sont souvent produits en série ; il s'agit là d'une approche empirique au sein d'un processus créatif. De tels modèles sont les éléments d'un ensemble plus vaste, ils font partie d'un processus de

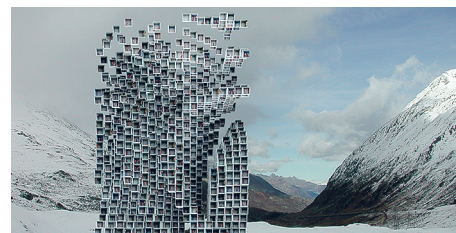
conception, véritable cheville ouvrière entre l'idée, la représentation et la vision ⁶.

L'idée du modèle devient claire avec *Global Towers* ⁷. Cet atelier s'est tenu en 2003 au TU Graz pour étudier des stratégies de densification et de différenciation au sein d'une production architecturale globalisée et concevoir à cet effet des tours de 30 à 60 étages. Le processus de conception et de matérialisation de ce projet était programmé numériquement et testé au moyen de maquettes. Avec l'auto-similarité des différentes strates individuelles, superposées en lignes et formes diversifiées, cet atelier traitait du problème non seulement du rapport entre la forme

5 Il semble clair, à présent, qu'à travers la volatilité de l'apparence matérielle et la numérisation de la matérialité, nous réagissons à une nouvelle sensibilité, une nouvelle perception visuelle et altérée, qui avait commencé avec l'ère de la vidéo et des ordinateurs dans les années 1980 et pénétrait alors le monde de l'architecture. La question se pose de savoir s'il s'agit d'un moment sensualiste particulier. L'instantanéité et l'apparence ont cependant toujours été des critères décisifs pour l'architecture à l'ère numérique, qui découvre de nouveaux territoires avec les nouvelles technologies de production. The *Interference Cube*, réalisé avec les partenaires industriels Wey Elementbau (éléments de béton), Jura Cement (ciment blanc) et CNC Dynamix (fraisage CNC), a été photographié par Roman Keller pour une contribution dans le magazine *Du 742*, sur le thème du « bâtiment utopique ». Voir Fanny Fetzer, « Schöner Wohnen im Plattenbau 2050 », in *Du 742, Utopisches Bauen*, Zurich, 2003.

6 Ceci caractérise aussi notre travail de recherche à l'ETH Zurich, à la fois empirique et matérialiste, et sans lequel la relation à la recherche pour la construction ne serait qu'un « travail de renseignement » sans objet et immatériel, qui n'aurait pas de lien avec la complexité et les échelles réelles. Son modèle culturel architectural ne serait par conséquent que purement téléologique.

7 Cet atelier était organisé par l'Institute of Architecture and Media et le Prof. Urs Hirschberg (collaborateurs : Christian Fröhlich, Martin Frühwirth ; étudiants : Theresa Adamski, Armin Austerhuber, Stephan Bergmann, Tatjana Bosic, Tobias Brown, Philipp Dobrowsky, Thomas Dohr, Alexander Eberl, Miroslav Gacesa, Daniel Grillenhofer, Chri Hoffelner, Rene Höflechner, Lejla Islamovic, Johannes Jagersbacher, Andreas Jaklin, Eva-Maria Jocham, Branislav Josic, Martin Kern, Birgit Kilzer, Christof Krusch, Michael Langeder, Peter Leidlmayer, Renate Mihatsch, Letizia Mirandola, Sabrina Omar, Slava Ormanova, Benjamin Pacher, Johannes Pointl, Thomas Rauter, Ulrich Reiterer, Petra Riegler, Mirela Seva, Stefan Schütz, Azra Suljkic, Andrijana Topic, Martina Wallner, Erich Wutscher).



#3

aggregations seen almost ten years later in *Flight Assembled Architecture*.

— From the model to the real, or the performance of scaled futurology

To bridge the gap between digital and analogue realities, we make extensive use of architectural models and prototypes in our work. These are deployed at specific points in the design and construction process in order to closely identify the principles of materialisation, structure and space at play in a project. Our models and prototypes always take on a life of their own, and they are often produced in series: as empiricism in a creative process. Models like these obtain their relevance from a greater whole; they are part of a design process and exist as an operational means between the idea, the representation and the vision. ⁶

This idea of the model becomes clear in the project *Global Towers*. ⁷ This workshop was conducted in 2003 at the TU Graz, and investigated strategies of densification and differentiation for the design of high-rise buildings with between 30 and 60 floors. The design and materialisation of this project was programmed in its entirety, and tested with lasercut models. In the self-similarity of individual floor plates repeatedly overlaid in different shapes and figures, it resolved not only the distinction between the whole and its individual layers, but also the very definition of the vertical



#4

building in architecture: namely, the vertical stacking of floors. → FIGURE #4 In the *Global Towers* project, the lasercut models are not be reduced to mere instruments in the architectural design but, with their scaled and layered composition, anticipated the future implementation at scale. Proceeding from the question of what the architectural model can embody and signify, the lasercut models expanded beyond the purely representative character of architecture. Instead, they underscored the capacity

6 These also characterise the empirical and materialistic character of our research at ETH Zurich, without which the relationship to construction research would remain an unengaged, immaterial "informing", and would have no connection with real scales and complexities. As a consequence, it would possess a purely teleological oriented model of architectural culture.

7 This workshop was conducted at the TU Graz (Austria) and hosted by the Institute of Architecture and Media, Prof. Urs Hirschberg (Collaborators: Christian Fröhlich, Martin Frühwirth; students: Theresa Adamski, Armin Austerhuber, Stephan Bergmann, Tatjana Bosic, Tobias Brown, Philipp Dobrowsky, Thomas Dohr, Alexander Eberl, Miroslav Gacesa, Daniel Grillenhofer, Chri Hoffelner, Rene Höflechner, Lejla Islamovic, Johannes Jagersbacher, Andreas Jaklin, Eva-Maria Jocham, Branislav Josic, Martin Kern, Birgit Kilzer, Christof Krusch, Michael Langeder, Peter Leidlmayer, Renate Mihatsch, Letizia Mirandola, Sabrina Omar, Slava Ormanova, Benjamin Pacher, Johannes Pointl, Thomas Rauter, Ulrich Reiterer, Petra Riegler, Mirela Seva, Stefan Schütz, Azra Suljkic, Andrijana Topic, Martina Wallner, Erich Wutscher).

globale et les niveaux individuels, mais aussi de la définition propre de l'immeuble vertical en architecture, avec la simple addition verticale des niveaux. → FIGURE #4 Dans ce projet, les maquettes ne sont pas de simples instruments dans le processus de design mais, avec leur composition en couches et à échelle réduite proportionnée, elles anticipent la réalisation future à l'échelle. Partant de la question de savoir ce que le modèle architectural peut incarner et signifier, les maquettes sont allées au-delà de leur simple fonction de représentation. Elles ont mis en évidence la possibilité de relier directement design et fabrication numérique, dans le but de rendre le non-imaginé visible et d'ouvrir du champ pour l'expérimentation. Cette idée-clé allait devenir primordiale pour la conduite de nos projets futurs, dans la mesure où notre travail ne se limite pas à des typologies ou échelles données. *Flight Assembled Architecture*, par exemple, n'est pas qu'un modèle réduit du *Village vertical*. C'est une expérimentation sur l'extension des frontières existantes, c'est une extrapolation spatiale et sociale ; une performance, en fin de compte.

Pour nous, l'aspect performatif des maquettes est crucial pour l'application des processus de fabrication robotisés à la conception de hauts immeubles. Prenons l'exemple caractéristique du SEC Future Cities Laboratory (FCL) de Singapour⁸. Là, en 2011, un dispositif inédit fut conçu pour déterminer dans quelle mesure de tels processus peuvent être explorés directement à l'échelle du modèle et pour développer des scénarios concrets pour leur réalisation à l'échelle. Le dispositif de fabrication à échelle réduite a permis le contrôle numérique de l'assemblage de modèles physiques complexes au 1 : 50 et la simulation de la logistique du processus de production

numérique – qui comprend des informations sur la géométrie, le matériau, la structure et le séquençage. → FIGURE #5

Identique à *Global Towers*, mais étendant son emphase géométrique à des systèmes non-standard d'immeubles à strates, l'idée du Future Cities Laboratory était de tirer parti de la variété architecturale, d'expérimenter différents modèles architecturaux en tenant compte de leur logique d'assemblage et de s'approcher ainsi le plus possible de la construction à l'échelle. En travaillant avec les modèles et le processus de construction sur une échelle réduite, une multiplicité d'outils et de méthodes furent déduits et testés – pas seulement pour leur efficacité propre, mais aussi pour leur capacité à générer des typologies innovantes d'immeubles verticaux avec la vérification immédiate de leur viabilité.

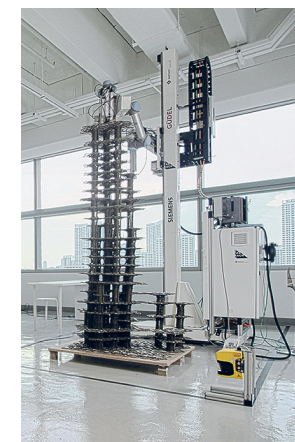
Suivant cette même approche fondamentale, *Flight Assembled Architecture* joue sur la possibilité d'extension des échelles de la technologie de construction pour rendre le non-imaginé visible – et peut-être l'improbable réel. Ainsi l'installation hésite-t-elle entre un projet architectural, un modèle et une performance dont le visiteur peut faire l'expérience. Bien que conçue à l'échelle 1 : 100, l'installation questionne clairement la frontière présumée entre modèle et réalité. Plus que tout, son objet est de créer une réalité

8 Le SEC Future Cities Laboratory (FCL) est un centre de recherche transdisciplinaire axé sur la question de la durabilité urbaine dans un cadre global. C'est le premier programme de recherche du Singapore-ETH Centre for Global Environmental Sustainability (SEC) ; il fut établi par l'ETH Zurich et la National Research Foundation, NRF, de Singapour (Gramazio & Kohler coordinateur de recherche et doyen des chercheurs : Michael Budig ; équipe : Norman Hack, Dr. Silke Langenberg, Willi Lauer, Jason Lim, Raffael Petrovic ; étudiants : Sebastian Felix Ernst, Pascal Genhart, Patrick Goldener, Sylvius Kramer, Sven Rickhoff, Silvan Strohbach, Michael Stünzi, Martin Tessarz, Florence Thonney, Alvaro Valcarce Romero, Fabienne Waldburger, Tobias Wulschlegler).

to directly link digital design and fabrication, in order to render the unimagined visible and to provide space for experimentation. This key insight was to become essential for many of our future projects, as our work is not limited to particular typologies or scales. *Flight Assembled Architecture*, for example, is not just a scale model of the *Vertical Village*; it is an experiment on the expansion of existing boundaries; it is a spatial and social extrapolation. Ultimately, it is a performance.

For us, the performative aspect of model-making is key for the application of robotic fabrication processes to the design of high-rise buildings. The SEC Future Cities Laboratory, or FCL, in Singapore⁸, is a case in point. Here, a unique setup was conceived in 2011 to investigate how such processes can be directly explored at model scale, and to develop concrete scenarios for their large-scale application. The scaled fabrication setup allowed the assembly of complex 1:50 physical models to be digitally controlled, and the logistics of digital production processes – which contained information about geometry, material, structure and sequencing – to be simulated. → FIGURE #5

Similar to the *Global Towers*, but extending its geometric emphasis on non-standard layered building systems, the focus of the Future Cities Laboratory was to capitalise on architectural variety by experimenting with architectural models in connection to their assembly logic, and thus shorten the gap to a full-scale implementation. By working with physical models and scaled constructive processes, a multiplicity of different new tools and methods were derived and tested – not only with respect to usability, but also with respect to their ability to enable the development of innovative

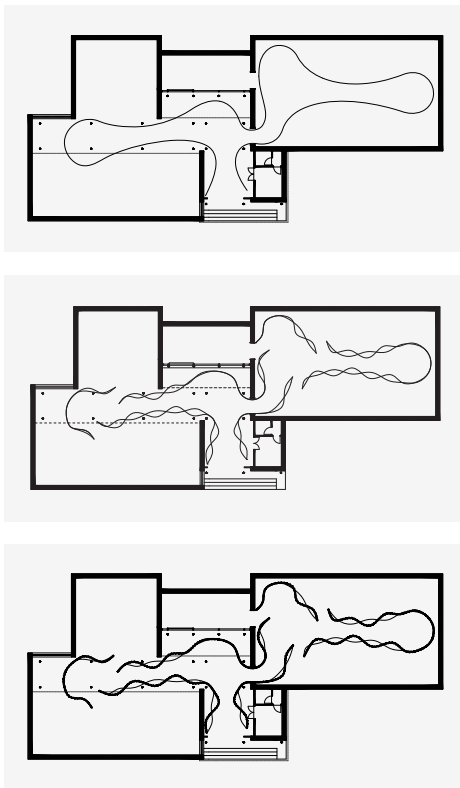


#5

vertical building typologies through the potential of direct evidence verification.

Following this same fundamental tendency, *Flight Assembled Architecture* likewise approaches the scaled interplay of building technology to render the unimagined visible – and maybe rendering the implausible real. And indeed, the installation hovers between an architectural project, a model and a performance that can be experienced by the visitor. Although built at a 1:100 scale, the installation clearly questions the assumed boundary between model and reality. Above all, its focus is to create a parallel reality, a systematic expansion of both the future utopia we are capable of imagining, and the reality we are capable of making.

8 The SEC Future Cities Laboratory (FCL) is a transdisciplinary research centre focused on urban sustainability in a global frame. It is the first research programme of the Singapore-ETH Centre for Global Environmental Sustainability (SEC) and was established by ETH Zurich and Singapore's National Research Foundation, NRF (Gramazio & Kohler Module coordinator and senior researcher: Michael Budig; team: Norman Hack, Dr. Silke Langenberg, Willi Lauer, Jason Lim, Raffael Petrovic; students: Sebastian Felix Ernst, Pascal Genhart, Patrick Goldener, Sylvius Kramer, Sven Rickhoff, Silvan Strohbach, Michael Stünzi, Martin Tessarz, Florence Thonney, Alvaro Valcarce Romero, Fabienne Waldburger, Tobias Wulschlegler).



#6 #7 #8

parallèle, une expansion systématique à la fois de l'utopie future que nous sommes capables d'imaginer et de la réalité que nous sommes capables de créer.

— Continuité non-modulaire d'éléments modulaires

Nombre de nos projets ont la caractéristique commune de proposer des réalisations à la fois très précises et par nature ouvertes et diversifiées. Pour parvenir à ce résultat, nous utilisons des éléments modulaires en un mode ajustable ; plutôt que de dessiner la forme finale de la structure, nous élaborons une série de règles déterminant leur agencement. Le projet *Structural Oscillations*, conçu pour la Biennale

Architecturale de Venise en 2008, est à cet égard exemplaire⁹. Le concept était un mur ondulant générateur d'espace, mis en place par le système robotisé R-O-B, et en dialogue avec le Pavillon suisse moderniste de Bruno Giacometti. Le mur de briques en forme de ruban continu s'étirait dans la configuration des salles du pavillon. Entre le ruban et les murs extérieurs, différents espaces d'exposition se formaient et, à l'intérieur, un nouvel espace apparaissait, introverti, connecté en continu au reste. → FIGURE #6 #7 #8

Pour assurer sa stabilité, la forme générale du mur en trois dimensions de *Structural Oscillations* était incurvée. Les segments de mur individuels étaient rendus stables par une configuration ondulante où la largeur dans les couches inférieures était augmentée et le centre de gravité de la structure était déplacé dans les couches supérieures de la courbe suivante. Par ailleurs, la surface du mur était modelée par l'orientation individuelle des briques : plus importante était la courbe, plus grande était la déviation des briques. Dans les zones de moindre incurvation, les briques étaient droites. Ainsi cette modulation des surfaces déterminait la déformation sculpturale du mur tout en contribuant à sa forte présence spatiale¹⁰.

Ce projet met en valeur le rôle dans notre travail de la programmation comme outil de production : d'un côté, elle permet la traduction des relations spatiales

⁹ Le projet *Structural Oscillations* a été développé en collaboration avec le curateur Reto Geiser et réalisé avec le soutien de Keller Ziegeleien AG, Kuka Schweiz AG et Sika Schweiz AG (chef de projet : Michael Knauss; équipe : Ralph Bärtschi, Tobias Bonwetsch, Nadine Jerchau, Michael Lyrenmann, Gregor Bieri, Michael Bühler, Hannes Oswald, Lukas Pauer; construction de maquettes : Lukas Pauer, Hannes Oswald).

¹⁰ Voir Fabio Gramazio, Matthias Kohler, « Digital Materiality in Architecture: Bridging the Realms of the Virtual and Physical », in *Explorations in Architecture*, Reto Geiser (ed.), Basel, 2008.

— Non-modular continuity of modular elements

A feature that is common to many of our projects is the capacity to create designs that are highly specific yet open and diverse in their very nature. One means of achieving this is to use modular elements in adjustable ways; to design a set of rules for their placement rather than designing the final form of the structure. Exemplary here is *Structural Oscillations*, a project that we designed for the Explorations exhibition at the Venice Architecture Biennale in 2008.⁹ The concept was a space-forming, undulating wall, created on-site by the mobile robotic system R-O-B, as a response to Bruno Giacometti's modernist Swiss pavilion. Here, a brick wall formed a continuous looping ribbon through the interior spaces. Between the wall ribbon and the outer walls of the pavilion, spatially different exhibition zones were generated and, simultaneously, a new introverted space was created, continuously connected to the overall exhibition space. → FIGURE #6 #7 #8

To lend it stability, the three-dimensional wall formed by *Structural Oscillations* was based on a curved line. The single wall segments were made stable by an undulating geometry that was increasing the width in the lower layers, while balancing the structure's centre of gravity again in the upper layers of the next curve. Additionally, the surface structure of the wall was shaped by the individual rotation of the bricks. The degree of rotation was derived directly from the geometry of the wall: the greater the curvature of the wall, the greater the deflection of the bricks. In places of slight curvature, the bricks were laid in a straight pattern. Through this surface modulation the sculptural deformation of the wall was amplified and given a particular spatial presence.¹⁰

This project highlights the role of programming as a productive tool in our work: on the one hand, it enables complex spatial relationships to be implemented into an adaptive design, addressing the negotiation between an open-ended design process and the control of parameters, rules and degrees of freedom. And, on the other hand, it can be linked with the information necessary for direct and efficient fabrication. Instead of designing an end form for *Structural Oscillations*, we devised a set of rules that made it possible to keep the shape-determining parameters open and continually adjustable up until the moment of fabrication. What resulted was a spatial and performative character, intermediating between deep surfaces and differentiated spatial configurations. In turn, *Structural Oscillations* gained an almost textile character that stood in contrast to the pavilion's surrounding firm materiality of classic brickwork, allowing the visitors an intensive spatial experience.

Ultimately, the individual layers of brick in *Structural Oscillations* offered a radically different approach to a spatial figuration—just as the vertical articulation in *Flight Assembled Architecture* would also later show in similar manner. → FIGURE #9 Its undulating and self-stabilising form indeed seems to be an important precursor to *Flight Assembled Architecture*, and motivated the investigation into the thin cylindrical structure found in the later project.

⁹ The project *Structural Oscillations* was developed in collaboration with the curator Reto Geiser and realised with the support of Keller Ziegeleien AG, Kuka Schweiz AG and Sika Schweiz AG (Project leader: Michael Knauss; team: Ralph Bärtschi, Tobias Bonwetsch, Nadine Jerchau, Michael Lyrenmann, Gregor Bieri, Michael Bühler, Hannes Oswald, Lukas Pauer; model building: Lukas Pauer, Hannes Oswald).

¹⁰ Cf. Fabio Gramazio, Matthias Kohler, "Digital Materiality in Architecture: Bridging the Realms of the Virtual and Physical", in *Explorations in Architecture*, Reto Geiser (ed.), Basel, 2008.

complexes en un design viable, avec la négociation entre un processus de design ouvert et le contrôle des paramètres, règles et degrés de liberté. D'un autre côté, elle est liée aux informations nécessaires pour une fabrication directe et efficace. Plutôt que de concevoir une forme finie pour *Structural Oscillations*, nous avons inventé une suite de règles permettant aux paramètres déterminant la forme de rester ouverts et continuellement ajustables jusqu'au moment de la fabrication. Il en a résulté un aspect spatial et performatif, avec une alternance de surfaces étendues et de configurations diversifiées. *Structural Oscillations* a ainsi acquis un aspect presque textile qui venait détonner avec la matérialité ferme du briquetage classique de l'enceinte du pavillon, offrant au visiteur une expérience spatiale intense.

Finalement, les niveaux individuels de briques dans *Structural Oscillations* proposent une approche de figuration spatiale radicalement différente – comme cela allait être le cas dans l'articulation verticale de *Flight Assembled Architecture*.
→ **FIGURE #9** La forme ondulante et auto-stabilisante de *Structural Oscillations* semble annoncer de manière significative *Flight Assembled Architecture* et être à l'origine de la recherche autour de fines structures cylindriques.

— Retour à la machine et autres réalités programmées

Dans le cadre de notre recherche, *Structural Oscillations* met en valeur une autre point critique : l'abandon de la notion traditionnelle de géométrie, qu'elle soit dessinée ou modelée, comme première donne pour le design. Les relations et les séquences sont désormais intégrées à l'objet architectural et émergent comme sa manifestation physique. Dans ce

contexte, la conception et l'exécution ne sont plus des phases au sein d'une séquence temporelle – les croquis de design n'ont plus besoin d'être traduits en dessins d'exécution. Le projet incorpore l'idée et la connaissance de sa production au moment même de sa production. Ainsi prend plus de sens l'idée de la construction comme partie intégrante de la conception architecturale. Les machines de production assistée par ordinateur permettent le lien entre la réalité numérique de l'ordinateur et la réalité matérielle. Le robot industriel est le moyen le plus direct pour créer des pièces de design personnalisées et des formes diverses d'expression matérielle. Avec son aptitude à la manipulation physique et à l'assemblage non-standard en série d'éléments de construction, le robot industriel modifie radicalement la capacité productive de l'architecture à l'échelle réelle.

Et, en effet, lorsque nous avons mis au point le premier système robotisé d'étude et de fabrication architecturale, en 2005, nous savions pertinemment que le robot s'était déjà imposé comme outil majeur de production industrielle et standardisée. Toutefois, bien qu'il ait été largement utilisé depuis le début des années 1990, l'étendue de ses capacités était loin d'être reconnue. Et maintenant, précisément, en ce « deuxième âge numérique¹¹ », le robot représente paradoxalement un « tournant » décisif. Un de ses éléments émerge désormais, dont il a probablement toujours été dépositaire, qui en fait l'outil approprié non seulement d'un mode de production standardisée, mais aussi d'un mode de production économique individuelle : ses qualités « génériques » le rendent capable de mener à bien les

11 Voir Mario Carpo, « Revolutions: Some New Technologies in Search of an Author », in *LOG 15*, New York, 2009.

— The return to the machine and other programmed realities

For purposes of this discussion, *Structural Oscillations* highlights a further critical point: the giving up of the traditional notion of geometry, whether drawn or modelled, as the architect's primary basis for design decisions. Instead, relationships and sequences inhabit the architectural object and emerge as its physical manifestation. In this context, design and execution are no longer phases in a temporal sequence—design sketches need no longer be converted into execution drawings. The design incorporates the idea and knowledge of its production at the moment of its conception. In turn, the understanding of construction as an integral part of architectural design takes on greater significance. Accessing digitally controllable machinery for architectural production, such as the industrial robot, enables the digital reality of the computer to be connected with material reality. Here, the industrial robot is the most direct means of creating individual designs and diverse forms of material expression. With its capacity for physical manipulation and for non-standard assemblies of large numbers of building components, the industrial robot radically changes the productive capacity of architecture at full scale.

And indeed, as we installed the world's first industrial robotic laboratory for architectural non-standard assembly processes in 2005, we were well aware that industrial robots had already established themselves as an important tool of industrial automation. Yet though they had been in extensive use since the beginning of the 1990s, their capacity was still far from being fully recognised. And now—in this “second digital age”¹¹—the robot paradoxically represents a critical “turning point”. As if it were always



#9

somehow in its “DNA”, something is now breaking through that makes this specific machine a suitable tool not only for standardised production, but also for economical individual production: it is its inherent “generic” character that allows the robot to perform the most varied tasks with efficiency, accuracy and flexibility, and yet all the while remain open for further adjustments and experiments. This approach corresponds in no way to a devaluation of human complexity; on the contrary, human capabilities can be considerably expanded through the robotic fabrication where monitoring and control of complex material processes are not only improved, but can be implemented in a differentiated way and thereby targeted for particular architectural

11 Cf. Mario Carpo, “Revolutions: Some New Technologies in Search of an Author”, in *LOG 15*, New York, 2009.

tâches les plus variées avec une efficacité, une précision et une flexibilité sans failles, tout en restant disponible pour d'autres adaptations et expériences. Cette approche ne signifie en aucune manière une dévaluation de la complexité humaine ; au contraire, les capacités humaines peuvent être considérablement étendues par la fabrication numérique, à travers l'amélioration du suivi et du contrôle de processus matériels complexes mais aussi par leur application diversifiée au service de buts architecturaux particuliers. Le résultat est une valeur architecturale ajoutée via la « connexion interactive » de l'homme et de la machine, lesquels, plutôt qu'égaux, sont des partenaires « équivalents ». → FIGURE #10

Comme l'illustre *Flight Assembled Architecture*, l'usinage robotique devient pertinent pour des applications architecturales au moment précis où il dépasse les tâches automatiques répétitives pour aborder la conception de processus physiques non-standards et leur application immédiate à une échelle architecturale tangible.

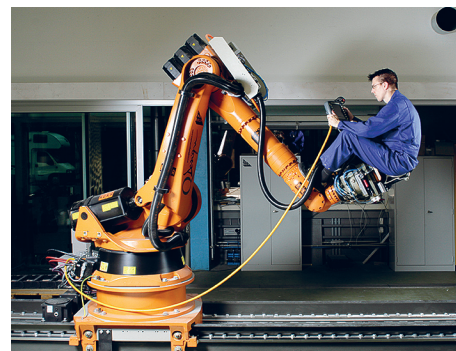
Par conséquent, le robot n'opère plus seulement dans le champ de la répétition industrielle mais dans un monde aux complexités changeantes et exponentielles. De ce fait, les architectes doivent commencer à traduire la logique culturelle des ces technologies numériques en une nouvelle réalité (construite). *The Programmed Column*, un projet développé avec des étudiants de l'atelier, est une tentative de matérialisation de la logique de l'âge de l'information. Il explore notamment la question du nouveau potentiel tectonique de l'utilisation des briques lorsqu'elles sont assemblées en structure verticale au moyen d'un robot¹². → FIGURE #11

La démarche était liée au développement d'outils de design algorithmiques, qui renseignaient la disposition additive de briques et permettait l'exploration de principes structuraux de transfert de poids et d'autres règles de conception pouvant être intégrés avec efficacité et de manière interactive. Une logique tectonique de design pouvait être déduite, dans laquelle la programmation numérique des colonnes est basée sur les mêmes procédés d'empilement que le robot pour la fabrication finale des colonnes. Des similarités conceptuelles fondamentales entre la conception de structures tectoniques complexes et la programmation d'un ordinateur furent identifiées. Comme un programme d'ordinateur qui exécute plusieurs opérations dans un ordre logique, des principes de construction furent aussi déterminés, qui définissent la conception et la fabrication des composants architecturaux tels que *The Programmed Column*, comme une suite tectonique de différentes étapes qui s'élaborent et s'établissent les unes au-dessus des autres.

— L'extension des capacités par l'espace

L'utilisation d'un robot terrestre pour la fabrication de *The Programmed Column* limitait toutefois le champ d'action, et de ce fait les pièces ne pouvaient pas être trop volumineuses. Les pièces des colonnes étaient fabriquées, regroupées en plusieurs lots et ensuite transportées

12 Le projet *The Programmed Column* a été développé en collaboration avec the Block Research Group (Assistant Chair of Building Structure, Prof. Dr. Philippe Block), ETH Zurich et réalisé avec le soutien de Keller Ziegeleien AG (Chef de projet : Michael Knauss ; équipe: Ralph Bärtschi, Jennifer Furstenau, Lorenz Lachauer, Mike Lyrenmann ; étudiants : Sebastian Cramer, Jari Fischer, Benjamin Heller, Pierre Levy, Claudio Meletta, Stephanie Monney, Luka Piskorec, Florian Strohmaier, Thomas Summermatter, Rainer Vock).



#10

purposes. The result is an added architectural value through the “interactive connection” of the human and the machine, who are not equal but rather “equivalent” partners. → FIGURE #10

As illustrated by *Flight Assembled Architecture*, robotic machinery gains its importance for architectural applications at the very point where it goes beyond repetitive automation tasks, to the design of non-standard physical processes and their immediate implementation onto a tangible architectural scale.

Consequently, the robot is no longer primarily operating in the spheres of industrial repetition, but in an emerging world of rapidly growing complexity. As such, architects must begin to translate the cultural logic of these digital technologies into a new (built) reality. *The Programmed Column*, a project developed with students in our course, is an attempt to materialise the logic of the information age. It explores in particular the question of what novel tectonic potential arises for the use of bricks if they are assembled into vertical structures using the robot.¹² → FIGURE #11

The procedure was linked with the development of algorithmic design tools, which informed the additive disposition of the bricks and enabled the exploration



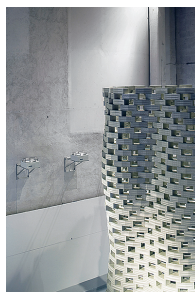
#11

of structural principles of load transfer and other design rules that could be effectively and interactively integrated. A tectonic design logic could be discerned, in which the digital programming of the columns is based on the same kinds of stacking processes as the final robot-based fabrication of the real columns. Here, fundamental conceptual similarities between the design of complex tectonic structures and the programming of a computer were identified; like a computer program that carries out different operations in a logical order, constructive principles were also determined, which defined the design and fabrication of architectural components such as *The Programmed Columns* as a tectonic dependency of different steps that vertically build upon the previous one.

— The extended capacity of space

Yet the use of a ground robot for fabricating *The Programmed Columns* was limiting the scale of action and thus constrained the size of the pieces. The columns were pre-fabricated in several batches and then transported to the building site where

12 The project *The Programmed Column* was developed in collaboration with the Block Research Group (Assistant Chair of Building Structure, Prof. Dr. Philippe Block), ETH Zurich and realised with the support of Keller Ziegeleien AG (Project leader: Michael Knauss; team: Ralph Bärtschi, Jennifer Furstenau, Lorenz Lachauer, Mike Lyrenmann; students: Sebastian Cramer, Jari Fischer, Benjamin Heller, Pierre Levy, Claudio Meletta, Stephanie Monney, Luka Piskorec, Florian Strohmaier, Thomas Summermatter, Rainer Vock).



#12



#13

sur le site de construction où les colonnes étaient assemblées avec un outillage adapté. Ce paradigme de préfabrication plutôt conventionnel fut modifié radicalement pour *Flight Assembled Architecture*. Avec pour résultante une tour de six mètres de haut, assemblée en continu par une flottille de quadcoptères autonomes, le volume du lieu d'exposition était rendu accessible dans son intégralité aux machines robotiques. Conséquence de ce saut technologique, *Flight Assembled Architecture* prépare le terrain pour des échelles radicalement nouvelles d'édifices fabriqués par ordinateur et pour des nouvelles formes de verticalité architecturale. De ce fait, la notion-même d'espace acquiert un sens nouveau. L'architecture n'était jusque là déterminée que par ses propriétés spatiales premières. Mais *Flight Assembled Architecture* s'occupe de tout autre chose. Il n'est pas question là seulement du contrôle des effets spatiaux de l'objet lui-même, mais de la maîtrise de l'espace aérien qui devient le lieu propre de la performance de l'artefact architectural. L'espace devient un critère important autant pour le design que pour sa matérialisation.

Avec cet assemblage aérien au moyen du robot, le suivi et le contrôle d'un grand nombre d'éléments dans l'espace non seulement sont rendus possibles mais peuvent également être réalisées

de manière différenciée et dans la perspective de réalisations architectoniques. Comme pour beaucoup de nos autres projets, *Flight Assembled Architecture* n'est ainsi plus attaché seulement au monde matériel, il se connecte aussi avec le monde non-matériel du design et de la programmation computationnelle. Autrement dit, pour concevoir un volume aux formes irrégulières avec plus de mille cinq cent modules tel que le *Village vertical* – le projet architectural derrière *Flight Assembled Architecture* – il faut dépasser des moyens traditionnels de la conception architecturale et de l'urbanisme tels que le plan quadrillé ou autres typologies et vocabulaires terrestres. Car si l'on déplace un seul module du *Village vertical*, un nombre infini de relations sont modifiées – de la performance structurelle jusqu'à la logique spatiale d'assemblage et à l'aspect d'ensemble du volume de l'édifice¹³. Et, en effet, des combinaisons spatiales nouvelles émergent entre les nombreux modules au moment où ils entrent en relation les uns avec les autres. Ils créent des figures non-standardisées, ouvertes à interprétation, tout à fait contraires au principe monotone de la série. → FIGURE #12 #13

13 En Suisse, la construction verticale semble à peine développée. Le sujet a été largement débattu depuis les années 1970 et de nombreux projets et études ont abordé la question. Il y eut par exemple l'utopie urbaine futuriste *Sigi-Ville* des années 1970, un projet de Sigmund Widmer, l'avant-dernier maire de Zurich : une ville futuriste dans la forêt pour 100 000 habitants. Le contexte était l'explosion démographique de la ville, la population atteignant 440 000 habitants. Le projet fut abandonné du fait d'une absence de volonté politique et d'une baisse concomitante de la population. Mais avec la pénurie de logements à Zurich, ce projet ne perd pas de son sens visionnaire.

they were assembled using additional machinery. This rather conventional pre-fabrication paradigm radically shifted with *Flight Assembled Architecture*. Resulting in a six metre tall tower, dynamically assembled on-site by a fleet of autonomous quadcopters, the entire airspace of the exhibition venue was made tangible and fully addressable by robotic machinery. As a consequence of this shift in construction technology, *Flight Assembled Architecture* paves the way for entirely new scales of digitally fabricated architectures—and in the case of aerial construction: for new forms of architectural verticality. As such, also the significance of space gains a completely new meaning. Traditionally, architecture is exclusively determined by its primary spatial properties. But *Flight Assembled Architecture* focuses on something else entirely. Here, it is not just about the control of the spatial implications of the object itself, but also about the mastery of the airspace which becomes the actual performance space of the architectural artefact. Here, space becomes an important criteria for both design and materialisation.

With this airborne robot-based assembly, monitoring and control of a large number of elements in space are not only enabled, but this can be implemented in a differentiated way and targeted for architectonic purposes. As with many of our projects, *Flight Assembled Architecture* is therefore no longer tied to the material world only, it also connects with the non-material world of computational design and programming. Or put differently: If one is to design an irregularly shaped volume with over thousand five hundred modules such as the *Vertical Village*—the architectural vision behind *Flight Assembled Architecture*—one must go beyond traditional means of architectural design and

urban planning, such as the grid or other ground-based typologies and vocabularies; for to move a single module in the *Vertical Village* would be to alter countless relationships—beginning with the structural performance through to the spatial logic of assembly and the overall appearance of the building volume.¹³ And indeed, the large number of modules enables ever-new spatial arrangements to emerge as they connect with one another, creating non-standard figures that are open to interpretation, rather than giving the impression of monotonous seriality.

→ FIGURE #12 #13

This connects *Flight Assembled Architecture* with many of our other projects and does justice to both the ever more complex conditions of architecture, and to the material substance of architecture, including its spatial capacity.

— A new physis of architecture

As evident in *Flight Assembled Architecture*, this complex set of complementary and dynamic relationships can be digitally controlled. This enables not only an architectural exploration of such complex physical aggregations but also human engagement to be central. Here, it is in no way the case that the hand of the architect would fall into disuse amongst autonomously operating robots. On the contrary, new digital technologies enable both new

13 In fact, Switzerland is a place where vertical construction seems hardly articulated. In fact, the topic has been discussed intensively since the 1970s and through projects and studies it was heavily invested in. One example is the futuristic urban utopia *Sigi-Ville*, which the former mayor of Zurich, Sigmund Widmer, wanted to build at the beginning of the 1970s: a futuristic city in the forest for 100,000 inhabitants. The background for this was an explosion in the development of the city, which led the population grow to a size of 440,000 inhabitants. Due to the denial of political will and a concurrent decrease in the number of inhabitants, the project died. Given the current shortage of housing in Zurich, however, it loses none of its visionary significance.



Ceci relie *Flight Assembled Architecture* à nos autres projets et rend justice à la fois aux conditions toujours plus complexes de l'architecture, et à sa dimension matérielle qui comprend son essence spatiale.

— Une nouvelle physis de l'architecture

Comme l'atteste *Flight Assembled Architecture*, ce jeu complexe de relations complémentaires et dynamiques peut être contrôlé numériquement. Ceci permet l'exploration architecturale d'ensembles physiques complexes et confère un rôle essentiel à l'engagement humain. La main de l'architecte ne deviendra pas inopérante parmi des robots rendus autonomes. Bien au contraire, les nouvelles technologies numériques créent des potentiels pour le design et génèrent en même temps des nouvelles relations entre l'homme et son environnement. L'intérêt pour la conception et la fabrication numérique dépasse les seuls enjeux technologiques, nous en sommes intimement convaincus ; il y a une composante anthropologique, qui n'est en rien accessoire ! Dans cette perspective, notre travail sur le robot doit moins à notre intérêt pour une « ontologie technoïde de la machine » qu'à ce que l'on pourrait appeler la réciprocité de la complexité conceptuelle et matérielle. En d'autres termes, les procédés numériques d'étude et de fabrication donnent leur pleine mesure justement là où l'architecte joue un rôle central.

Ainsi, notre recherche tendrait à montrer que le « champ de force » de l'âge de l'information implique une re-conceptualisation de l'architecture qui ne se limite pas à certaines échelles ou formes de design architectural¹⁴. Les projets dont il est question ici ne doivent pas être envisagés selon une perspective purement technologique, ou bien comme étant motivés par la seule représentation de systèmes

formels ou idéaux ; leur présence conceptuelle est le résultat d'explorations architecturales basées sur le processus. Notre travail, de ce fait, ne revêt pas un caractère « conclusif », il n'est pas achevé, mais plutôt ouvert vers l'inattendu, l'inattendu matériel nonobstant¹⁵. Des projets tels que *Interference Cube*, *Structural Oscillations*, *The Programmed Column*, et, plus récemment, *Flight Assembled Architecture*, montrent bien que la synthèse entre les données et le matériau n'est ni un paradigme numérique ni une esthétique rhétorique. Il s'agit bien plus que d'un bref chapitre de l'ère numérique. Au contraire, la portée de la matérialité numérique est interdisciplinaire et de ce fait sociale – et ceci non pour la seule compréhension interne de la discipline architecturale. Ce dont il est question ici, pour l'avenir, c'est de la perception, de la conception et de la modification de l'environnement construit. L'architecte doit donc poursuivre et adopter ces nouvelles recherches et technologies numériques, et les incarner, dans le matériau comme dans l'espace, afin de leur donner une visibilité dans la culture contemporaine.

14 Le sociologue espagnol Manuel Castells montre, parmi d'autres choses, comment les nouvelles formes d'organisation numérique ("Espace de Flux"), affectent non seulement les typologies, organisation et représentations de l'architecture et de la ville, mais modifient aussi la perception et le sens esthétique, de même que les émotions momentanées et les raisonnements. Voir Manuel Castells, *The Informational City. Information Technology, Economic Restructuring, and the Urban Regional Process*, Oxford, 1989.

15 Manuel DeLanda définit une nouvelle topologie (sociale) qui permet de connecter l'analyse au niveau macro et micro en examinant différentes dépendances matérielles et immatérielles à des échelles sociales variées (corps, villes, territoires, réseaux, états-nation). Selon DeLanda, la complexité sociale est composée d'une variété d'ensembles finis émergeant de zones hétérogènes. Il suit la pensée de Deleuze et sa fonction matérialiste expressive. Le processus d'assemblage (« devenir ») est crucial pour toute association sociale et décrit une réalité indépendante en elle-même qui est systémique mais jamais déterminable dans son intégralité. Voir Manuel DeLanda, *A New Philosophy of Society. Assemblage Theory and Social Complexity*, New York, 2006.

potentials for design and new relationships between ourselves and our environment. It is our essential conviction that focusing on digital design and fabrication processes has more than just technological implications. There exists also an anthropological implication, and one that is not merely incidental! Our work with the robot is, from this perspective, due less to an interest in the "technological ontology of the machine" but rather to what could be described as a reciprocal connection between design and physical complexity. In other words, the use of digital design and fabrication processes unfold their potential precisely when the architect moves into a central role.

Thus, in our work, we attempt to show that the "force field" of the information age brings architecture to a far-reaching re-conceptualisation that is not limited to certain scales or forms of architectural design.¹⁴ The projects discussed here are to be understood not from a purely technological perspective, or as a place for the representation of formal or ideal systems, but solely from the conceptual presence of process-based architectural explorations. Our work is therefore not exhausted by possessing a "conclusive" character, but is rather open towards the unexpected yet physical.¹⁵ Projects such as *Interference Cube*, *Structural Oscillations*, *The Programmed Column*, and most recently *Flight Assembled Architecture*, make clear that the synthesis of data and material is neither a digital paradigm nor a rhetorical aesthetic. It is far more than a short-lived chapter of the digital era. Instead, *Digital Materiality* entails cross-disciplinary and therefore social relevance — and not just for the self-understanding of the architectural discipline. It touches upon the very question of how the built environment in the future is to

be perceived, designed and modified. As such, we consider the role of the architect not only to take up the newest digital technologies and research, but to also set these developments spatially and physically in relation to one another in order to make them culturally significant.

14 The Spanish sociologist Manuel Castells describes, among other things, how new forms of digital organisation ("Space of Flows"), not only affect the typologies, organisation and representation of architecture and city, but also how they alter the perception and aesthetic significance, as well as momentary emotions and procedural reflections. Cf. Manuel Castells, *The Informational City. Information Technology, Economic Restructuring, and the Urban Regional Process*, Oxford, 1989.

15 Here, Manuel DeLanda introduces a new (social) topology that allows to connect micro- and macrolevel analysis by investigating into different material and immaterial dependencies on various social scales (bodies, cities, territories, networks, nation states, etc.). DeLanda's theory sees social complexity as composed of a variety of wholes emerging from heterogeneous parts and is deeply following Deleuzian body of thought and its expressive materialist function. Here, the process of assembling ("becoming") is crucial to all social aggregations and describes an independent reality in itself which is systemic but never fully determinable. Cf. Manuel DeLanda, *A New Philosophy of Society. Assemblage Theory and Social Complexity*, New York, 2006.

