

L'architecture à l'heure du numérique, des algorithmes au projet

Un débat entre Martin Bressani, Mario Carpo, Reinhold Martin et Theodora Vardouli, mené par Antoine Picon

Martin Bressani, Mario Carpo, Reinhold Martin, Antoine Picon et Theodora Vardouli

Traducteur : Étienne Gomez



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/perspective/14830>

DOI : [10.4000/perspective.14830](https://doi.org/10.4000/perspective.14830)

ISSN : 2269-7721

Éditeur

Institut national d'histoire de l'art

Édition imprimée

Date de publication : 30 décembre 2019

Pagination : 113-140

ISBN : 978-2-917902-50-9

ISSN : 1777-7852

Référence électronique

Martin Bressani, Mario Carpo, Reinhold Martin, Antoine Picon et Theodora Vardouli, « L'architecture à l'heure du numérique, des algorithmes au projet », *Perspective* [En ligne], 2 | 2019, mis en ligne le 30 juin 2020, consulté le 24 janvier 2021. URL : <http://journals.openedition.org/perspective/14830> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/perspective.14830>

L'architecture à l'heure du numérique, des algorithmes au projet

Un débat entre Martin Bressani,
Mario Carpo, Reinhold Martin et Theodora
Vardouli, mené par Antoine Picon

Il y a vingt-cinq ans, l'architecture était encore largement produite à la main, à l'aide d'encre appliquée sur du calque. La diffusion des outils numériques est venue bouleverser la situation. L'écrasante majorité des projets est aujourd'hui conçue au moyen de l'ordinateur. Les outils, on le sait, orientent les pratiques créatives et sont même susceptibles de provoquer leur redéfinition. Quel a été l'impact du numérique sur l'architecture ? Les contributions à cette discussion tentent d'apporter des réponses à cette question d'autant plus complexe qu'elle comporte de multiples dimensions. Il est par exemple possible de se concentrer sur les procédures de projet, en rapide évolution sous l'influence de techniques comme la conception paramétrique, ou de privilégier les résultats obtenus au moyen de l'ordinateur, comme l'apparition de géométries innovantes. Il est légitime de s'interroger sur le rôle des algorithmes dans la conception et la pratique de l'architecture, mais il s'avère tout aussi important de prendre en compte les possibilités qu'ouvre la fabrication numérique à grande échelle. Il convient également de s'interroger sur le devenir de la profession d'architecte : le numérique a en effet ébranlé durablement certaines de ses structures. Plus généralement, il apparaît souhaitable de questionner la fonction de l'architecture au sein d'un monde dominé par un néo-libéralisme qui tend à faire de certaines de ses productions un signe de prestige. Songeons au rôle des grands équipements culturels dans la compétition mondialisée des villes et des territoires.

Si les perspectives adoptées par les différents protagonistes de ce débat diffèrent, le lecteur notera toutefois l'existence d'un certain nombre de convictions partagées. Le premier tient au caractère indissociablement technique et culturel des transformations induites par le numérique. L'évolution de la discipline architecturale dont il est question dans les pages qui vont suivre va bien au-delà de la simple influence de l'ordinateur sur la pratique du projet. Elle se révèle solidaire d'un ensemble de transformations sociétales, d'un glissement des imaginaires et de mutations socio-économiques sans lesquelles on comprend difficilement ce qui se joue dans le champ de l'architecture contemporaine.

L'urgence de penser les mutations en cours d'un point de vue non seulement pratique mais aussi théorique constitue un second fil conducteur. Il ne suffit pas de mesurer les transformations concrètes de l'exercice de l'architecture, de l'évolution des techniques

de représentation à la montée en puissance du *Building Information Modelling* (BIM), la modélisation numérique des bâtiments qui transforme profondément les relations entre acteurs de la filière construction. Comprendre en quoi les fondements mêmes de la discipline architecturale se trouvent impactés apparaît tout aussi important. Cette urgence redouble à la veille de la nouvelle révolution qui s'annonce avec l'arrivée en force du *machine learning*, l'apprentissage par les machines, et de l'intelligence artificielle dans le champ de l'architecture.

On notera enfin le souci, exprimé par les différents intervenants, de ne pas tomber dans l'écueil du « présentisme » et de réinscrire l'évolution récente dans l'histoire longue de la discipline architecturale, et cela au-delà des analogies superficielles entre hier et aujourd'hui. Au début de la révolution numérique en architecture, on a souvent eu recours à des comparaisons avec des épisodes passés comme la Renaissance ou la période baroque. Certes, comme le notait Mark Twain, l'histoire ne se répète pas, elle rime. À l'étude des rimes possibles entre ces épisodes et l'évolution récente de la discipline a toutefois succédé un regard plus attentif à l'ensemble complexe de continuités et de discontinuités entre modernité, post-modernisme et transformations induites par le numérique. L'histoire du numérique elle-même, et des vingt-cinq années qui viennent de s'écouler, fait l'objet de tentatives de périodisation. La multiplication récente de travaux académiques consacrés à ces questions renvoie à une volonté de comprendre le présent au moyen d'une histoire à la fois scientifique et critique. Cette histoire a besoin d'être fortement reliée aux autres pans de la recherche sur l'évolution contemporaine des pratiques créatives en relation avec les mutations technologiques. On ne peut que se réjouir, à cet égard, qu'une revue d'histoire de l'art accueille les échanges qu'on va lire sur l'architecture à l'heure du numérique.

[Antoine Picon]

– **Antoine Picon.** L'architecture numérique peut être envisagée de plusieurs façons. On peut se contenter de la voir comme l'architecture produite à l'âge de l'ordinateur et des autres outils numériques. À cette vision simplificatrice s'oppose le discours élaboré par diverses néo-avant-gardes, selon lesquelles cette discipline a été fondamentalement modifiée, dans sa définition comme dans sa pratique, par les technologies et les cultures du numérique. Quelle définition considérez-vous comme la plus pertinente ?

– **Mario Carpo.** Le recours au calcul électronique pour la conception et la construction est désormais omniprésent, et quasiment inévitable, ce qui ne veut pas dire que l'adoption de modes de conception et de construction assistés ou même commandés par ordinateur ait nécessairement des conséquences significatives du point de vue architectural. La plupart des garages sont aujourd'hui conçus, calculés, décidés et réalisés à l'aide d'une puissance numérique bien supérieure à celle dont disposait Frank Gehry dans les années 1990 pour le musée Guggenheim de Bilbao ; ils ont cependant la même allure que depuis toujours, et le fait que les ordinateurs aient été utilisés pour leur conception ne se voit aucunement. Il en va de même pour la plupart des centres commerciaux construits en ce moment et aussi, je regrette de devoir le dire, pour de nombreux gratte-ciel flambant neufs que je vois de ma fenêtre au moment même où j'écris, en regardant Londres. Le recours à l'ordinateur ne suffit donc pas pour caractériser la nouvelle architecture de l'ère numérique.

Greg Lynn a récemment mis en circulation l'expression *digitally intelligent architecture* (littéralement « architecture numériquement intelligente ») pour désigner le nouveau mode

de conception que les outils numériques ont promu et privilégié au début des années 1990. Si Greg Lynn n'a jamais défini formellement cette expression, je pense que ce qu'il voulait dire, c'est que les bâtiments « numériquement intelligents » sont des bâtiments qui ont non seulement été conçus et construits grâce à des outils numériques, mais qui ne pourraient pas l'avoir été *sans* outils numériques : peut-être auraient-ils pu être conçus *en l'absence d'outils numériques* (la chose est discutable), mais jamais ils n'auraient pu exister – que ce soit en tant que notations de conception ou en tant que bâtiments proprement dits. En bref, ce qui définit la nouvelle architecture de l'ère numérique, ce n'est pas *ce qu'on peut faire grâce aux outils numériques, mais ce qu'on ne peut pas faire sans eux*. (Un philosophe médiéval, plus versé que moi dans la logique propositionnelle scolastique, eût trouvé une formulation un peu plus claire.) Ainsi définie, l'architecture numériquement intelligente est née au début des années 1990, lorsque de jeunes (et de moins jeunes) architectes ont eu peu à peu l'intuition que, grâce aux outils numériques, il devenait possible de produire une nouvelle gamme d'objets techniques qui jusque-là n'avaient jamais existé ; et que les outils numériques pouvaient désormais servir non seulement à concevoir davantage de choses telles que celles qui existaient déjà, mais aussi à en concevoir de nouvelles, grâce à des méthodes inédites et sur la base d'une nouvelle logique technique comme d'une structure de coûts neuve, en rupture avec ce qui se faisait jusque-là . Ces premières intuitions sont allées de pair avec l'essor d'une nouvelle théorie architecturale, que nous appelons désormais théorie du design numérique.

– **Martin Bressani.** Le matériel numérique est aujourd'hui exploité dans des pratiques architecturales de tous genres et à toutes sortes d'échelle, du modèle communautaire le plus artisanal à la planification de villes entières. De fait, une bonne part de la culture passe aujourd'hui par le numérique d'une manière ou d'une autre. Cependant, regrouper toutes ces pratiques, architecturales ou autres, dans la catégorie du « numérique », élargit celle-ci au point de lui faire perdre toute valeur pratique ou heuristique – en tout cas dans la perspective qui nous occupe. Peut-être les historiens de l'architecture de demain, si cette discipline se maintient, jugeront-ils utile de qualifier simplement de « numérique » l'architecture de notre ère, de la même façon qu'on parle aujourd'hui d'« architecture médiévale ». La méga-périodisation a son intérêt lorsque l'on envisage l'histoire dans la longue durée. En attendant que se dessine une perspective historique aussi vaste, la catégorie d'« architecture numérique » n'est cependant que d'un intérêt limité, à moins peut-être d'en restreindre la définition au travail de ces architectes qui utilisent les outils numériques mais qui ont aussi consciencieusement étudié leurs potentialités, leur organisation et leur logique – parmi lesquelles, bien entendu, leur aptitude à être subvertis et transformés, d'être autres que ce qu'ils étaient destinés à être. Ainsi cette catégorie inclurait-elle les premiers discours architecturaux sur l'informatique des années 1960 (même si aucun matériel numérique n'était alors réellement exploité) ainsi que diverses expériences numériques universitaires, et jusqu'aux recherches actuelles en robotique et au-delà.

Dans une veine plus spéculative, il peut être intéressant malgré tout de partir d'une définition plus critique de la catégorie d'« architecture numérique », en évitant le pur et simple déterminisme technologique. Le numérique a une ontologie ou une manière d'être propre, dont la définition donne lieu à des débats sans fin chez les théoriciens des médias. Le plus essentiel est sans doute le code binaire – les 0 et les 1 qui universalisent toutes les opérations numériques et par lesquels la singularité des choses s'évapore dans l'abstraction. Dans une telle perspective, c'est avec le développement de la manipulation génétique et la création de structures nanoscalaires que l'émergence d'une architecture numérique apparaît avec le plus de clarté – en d'autres termes, lorsque le monde matériel est redéfini

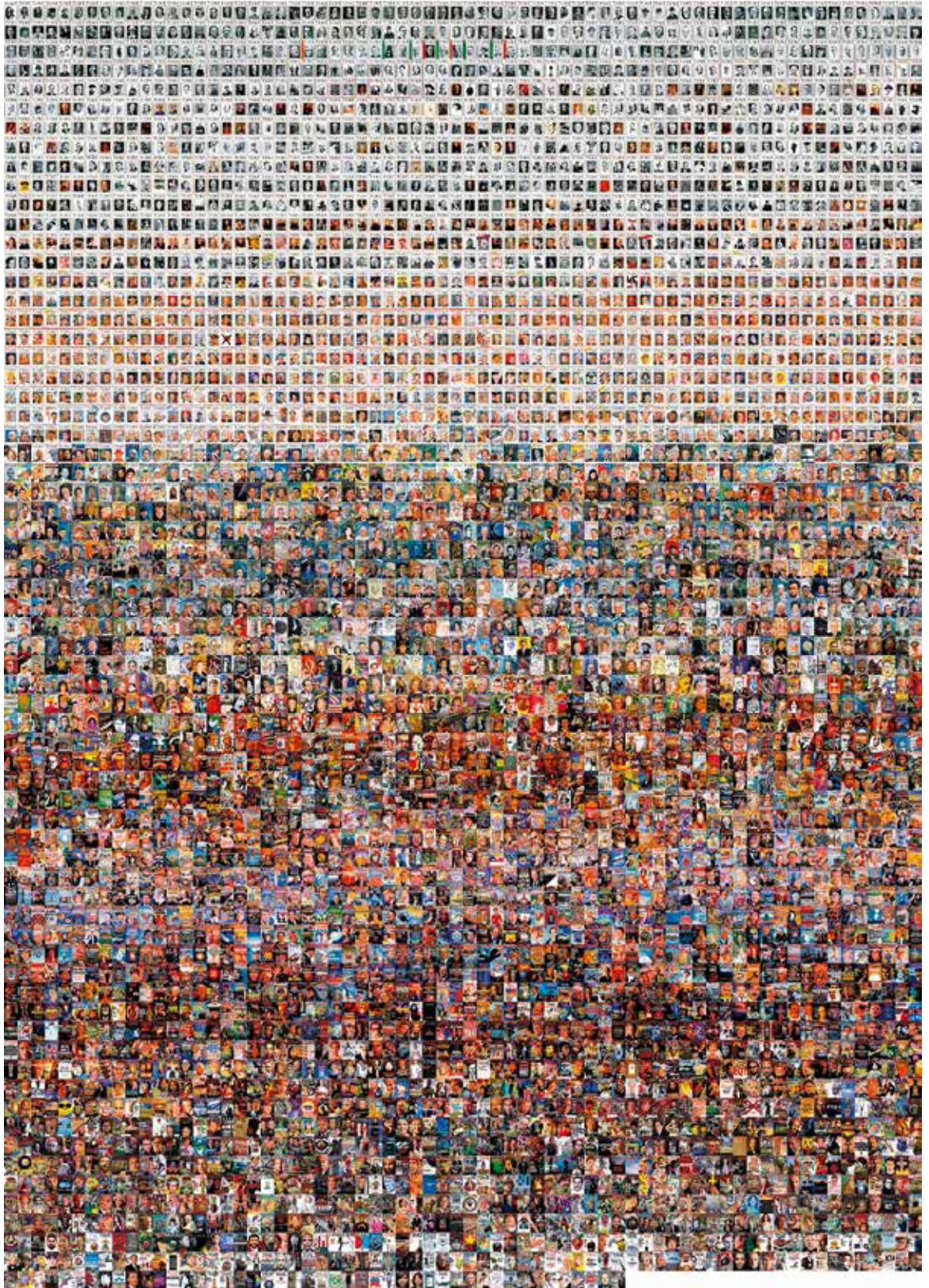
ou reformaté par l'abstraction du code binaire. Ce processus aboutirait, par exemple, à la création d'environnements réactifs et de réalités augmentées, plutôt qu'à un langage formel particulier.

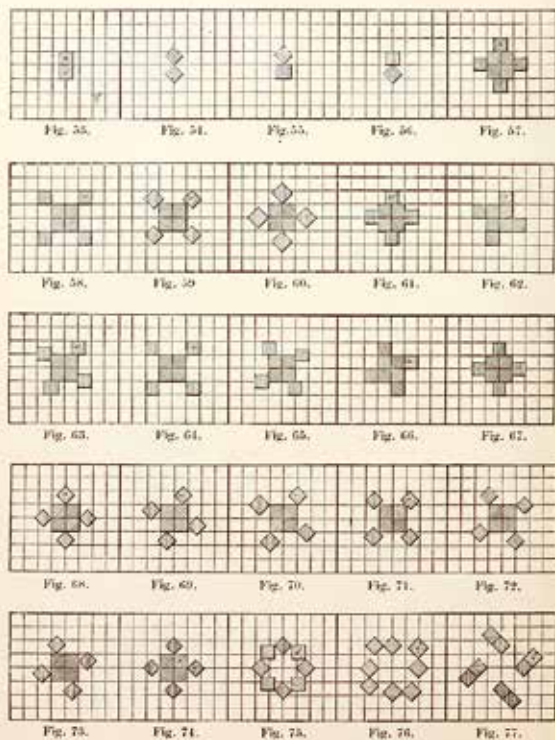
Une telle définition tend cependant à nous ramener à des généralités. C'est peut-être pour cette raison que certains théoriciens du numérique se gardent d'assigner une primauté ontologique au code binaire. Dans « Database as Symbolic Form », Lev Manovich fait ainsi des structures de données et des algorithmes l'avant et le revers du monde numérique¹. Alors que la culture humaine était traditionnellement « narrative », il juge que c'est aujourd'hui la manière dont les ordinateurs organisent les données qui représente le vrai médium ou la vraie mesure de nos représentations culturelles. S'il n'a jamais été question, à ma connaissance, d'« architecture de base de données », on peut imaginer, d'après les intuitions de Manovich, qu'une telle architecture impliquerait une prise de distance par rapport à la poésie narrative, peut-être par l'introduction de nouveaux systèmes et langages formels, voire d'un usage créatif du BIM. Au-delà de la simple application des données, Manovich vise cependant une esthétique possible, voire une éthique des bases de données, ce qui laisse le champ à une interprétation plus créative et plus critique (fig. 1). Il renvoie à l'œuvre de réalisateurs comme Peter Greenaway et Dziga Vertov, à l'origine d'une tradition de « cinéma de base de données » où l'absence de séquence, que ce soit sur le plan thématique, formel, ou autre, affaiblit le concept de fil narratif.

D'autres théoriciens des médias se sont efforcés de s'éloigner davantage de l'abstraction. Ainsi la spécialiste américaine de la culture visuelle Johanna Drucker critique-t-elle la représentation qui fait de la technologie électronique une réalité immatérielle et réductible à un flux binaire². Se concentrant sur les composants matériels des objets numériques, des logiciels, et de leurs processus, elle explore les rapports systémiques plus larges au sein d'un ensemble de « matérialités distribuées » : une entité numérique dépend de serveurs, de réseaux, de logiciels, d'hébergeurs, de projections virtuelles, ainsi que des rapports entre les uns et les autres. Sa représentation de la matérialité n'est pas littérale pour autant : elle ne s'intéresse pas à un déterminisme selon lequel les caractéristiques propres à des artefacts matériels ou à des médias infléchiraient nécessairement le design ou la création esthétique. Elle développe au contraire un modèle performatif où ce sont la matérialité et l'organisation formelle qui déclenchent l'acte interprétatif – le tout dans un idéal d'assimilation de la technique et de la pensée humaniste. L'architecture numérique, dans cette perspective, serait moins le « produit » d'un ensemble de matérialités que les possibilités d'actes interprétatifs qui en découleraient, et dans lesquels la phénoménologie, l'incarnation, et même les intuitions psychanalytiques auraient un rôle à jouer. Conçu sous ce jour, le numérique réduit la distance entre l'architecte et les perspectives cognitives en matière de design et d'élaboration des sensations, et oriente l'architecture vers un tournant affectif général, donc vers une imagination spécifique. Comme elle l'a montré dans son exposition et dans son ouvrage correspondant *Emerging Sentience* (2001), le fondement conceptuel « serait de faire un travail sur la sensibilité en tant que propriété émergente des systèmes intelligents³ ».

– **Theodora Vardouli.** Observer attentivement le changement et le prescrire ne sont pas une seule et même chose. Si les manifestes et les revendications bruyantes font toujours partie intégrante de la socialisation professionnelle des architectes, on ne fait, en creusant un écart croissant vis-à-vis des vieux tropes héroïques, que rendre plus transparentes les annonces de nouveauté et de rupture. Le capital financier et culturel qu'elles mettent en jeu apparaît de manière flagrante, tout comme les

1. Lev Manovich et Jeremy Douglass, *Timeline*, 2009, couvertures de tous les magazines *Time* publiés depuis le premier numéro en 1923 jusqu'à l'été 2009 [4 535 premières de couverture].





2. Combinatoires de cubes de construction avec les cadeaux de Friedrich Froebel. Issu de Edward Wiebé et Milton Bradley (dir.), *Paradise of Childhood: A Practical Guide to Kindergartners*, Quarter Century Edition, Springfield, Mass., Milton Bradley Co., 1896, p. 102.

rapports précaires qu'elles entretiennent avec le déterminisme technologique considéré en tant que force abstraite, singulière, qui pousserait au changement social et culturel. Les technologies numériques ne peuvent pas à elles seules modifier fondamentalement une discipline. Les *techniques* qui s'imposent dans la pratique ont cependant des implications importantes dans la manière dont elles stimulent ou limitent les façons de penser, de voir, de faire, et de situer l'architecture en deçà ou au-delà de contextes et d'environnements.

Si l'on veut étudier et théoriser ces implications, il faut partir d'une définition encore plus factuelle de l'architecture numérique : « L'architecture numérique est l'architecture produite grâce à l'utilisation de l'ordinateur et d'autres outils numériques ». Une telle définition met au premier plan, non l'idée désincarnée d'une « ère » numérique, mais les multiples actes matériellement et culturellement situés qui la constituent. Si elle est factuelle, elle n'est pas simple pour autant, dans la mesure où la notion d'utilisation n'a rien de simple : elle présuppose des *utilisateurs*, elle nécessite une *chose* utilisée, et elle est toujours productive, de *choses* comme de *sujets*.

Plusieurs auteurs, dans des études incontournables sur l'architecture numérique⁴, se sont attardés sur des architectes influents qui, s'ils étaient précurseurs par l'intégration des outils numériques dans leur pratique professionnelle, n'en étaient pas souvent eux-mêmes

les utilisateurs. Les hiérarchies professionnelles entre architectes et techniciens, qui ont été bien antérieures à l'introduction des ordinateurs dans l'espace de travail et qui ont préfiguré certaines de leurs utilisations, deviennent discutables et incertaines. Une définition « factuelle » de l'architecture numérique, qui met en avant l'utilisation, permet de dépasser le « Numérique » (avec une majuscule), exaltant les innovations formelles et tectoniques introduites par l'ordinateur, pour englober les pratiques numériques (avec une minuscule, et au pluriel).

Les réalisations produites grâce aux outils numériques impliquent un excédent d'information et de code – une situation qui n'est pas sans corollaires, ni sur le plan de la paternité⁵ et de la main d'œuvre⁶, ni sur le plan éthico-politique⁷. En plus de cet excédent productif, les outils numériques créent aussi des sujets qui répondent aux manières de voir, de penser et de faire, déterminées par l'interface. Une définition de l'architecture numérique centrée autour de l'utilisation oriente l'attention vers les médiations techniques de la pratique qualifiée.

Enfin, la notion d'« outils numériques » désigne un bric-à-brac de ressources qui vont des aides à la rédaction aux algorithmes génératifs ou encore des systèmes de gestion des constructions aux moteurs de simulation. Le dénominateur commun est ici numérique. Les outils numériques requièrent des représentations disjointes gérables par des machines

électroniques qui traitent les symboles et calculent en code binaire. Parler du « numérique » signifie parler du « discret », même lorsque ce qui apparaît sur l'écran, dans l'oreillette, ou dans la chambre d'impression 3D est d'une luxuriante continuité. Ma suggestion d'associer le « numérique » (*digital*) au « disjoint » (*discrete*) n'a pas pour ambition d'inspirer un énième slogan. Elle ne porte pas cette orientation vers l'avenir qui sous-tend le dernier numéro d'*Architectural Design*, intitulé *Discrete*⁸. Il s'agit plutôt d'un projet critique, à la fois empirique et théorique, historique et philosophique. L'idée est d'accepter que dans la définition factuelle, centrée autour du processus, que je propose, l'« architecture digitale » n'est plus qu'une manipulation de *cubes de construction*⁹ à une certaine échelle et à un certain degré d'abstraction. L'idée est de veiller à la finesse des *cubes*, au discours qui leur est associé et aux raisons de leur durabilité – culturelle, technologique, architecturale – ainsi qu'à leurs alternatives informatiques. Le calcul est après tout le sur-ensemble du digital (**fig. 2**).

– **Reinhold Martin.** La variable la plus importante à mes yeux, dans cette question, est le substantif « architecture » plutôt que l'adjectif « numérique ». Dès lors que l'on cesse d'être dupe de la façon dont les stratégies de marketing ont détourné l'héritage des avant-gardes modernistes (et même des néo-avant-gardes postmodernes) – en reconnaissant, à tort, une profession à vocation pratique comme une discipline universitaire –, cette distinction rappelle le jeu sur les mots tristement célèbre de Henry-Russell Hitchcock opposant l'« architecture de la bureaucratie » à l'« architecture du génie¹⁰ ». À la différence qu'aujourd'hui, le « génie » en question a lu l'essai de Roland Barthes sur la mort de l'auteur (ou du moins en a entendu parler) et sait qu'il doit déguiser sa trop humaine ambition professionnelle derrière un masque techno-déterministe. En d'autres termes, la pseudo-avant-garde a un objectif conservateur, et non révolutionnaire, au sens où elle cherche à préserver la fonction de l'auteur en tant que marque professionnelle en inscrivant une signature « numérique » quelconque au plan théorique. Pour l'industrie culturelle en un sens plus large, plus il y a de signatures, et plus ces signatures apparaissent « numériques », mieux c'est. Tous les efforts déployés pour faire ressortir une architecture distinctement « numérique » propre à l'« ère de l'ordinateur » sont ainsi de purs produits de cette ère historiquement et socio-techniquement définie par les protocoles individualistes et entrepreneuriaux du (néo)libéralisme : capitalisme libéral, « démocratie » libérale, et professions libérales, dont l'architecture.

Je crois néanmoins que cette question dépasse le cadre de l'industrie culturelle néolibérale. Épistémologiquement comme existentiellement, le problème posé par l'« ère de l'ordinateur » n'est pas un problème de déshumanisation (par la mécanisation, puis par l'informatisation), mais de ré-humanisation, le culte de l'individualité et de la volonté personnelle s'affirmant à travers la quête d'une fonction d'auteur automatisée. C'est ainsi que la question de l'architecture « numérique » rebondit de l'objet au sujet, et de l'architecture à l'architecte. Qu'est-ce qu'un architecte, dans cette situation ? L'idéologue néoconservateur Daniel Bell n'avait pas tort lorsqu'il associait l'automatisation et l'informatisation à l'essor des métiers de service, parmi lesquels le métier d'architecte apparaît emblématique¹¹. Ironiquement, si la fonction d'auteur décline, ou est absorbée par la machine, la fonction de service augmente. L'architecte se range désormais entièrement dans la catégorie professionnelle-managériale des « analystes symboliques » dont la mission est d'être au service de la société en interprétant et en réagencant ses symboles, culturels autant que numériques. On voit ici à l'œuvre une métaphysique qui traite les deux types de symboles comme théologiques en dernière analyse, ce qui explique à la fois le ton eschatologique de tant de théories du « numérique » et les efforts acharnés pour « générer » une architecture qui ait un sens – quel qu'il soit – dans l'esprit d'une clientèle aveuglée par sa propre complicité : principalement des promoteurs, mais aussi des professionnels de musée, des « critiques », et d'autres analystes symboliques.

– **Antoine Picon.** Selon vous, quel a été le principal impact du numérique sur l'architecture ? En quoi est-il différent par rapport à d'autres domaines de l'art et de la technologie ? Lorsque l'on revient sur l'évolution de la discipline depuis la Renaissance, quels éléments de continuité et de discontinuité considérez-vous comme les plus importants dans la transition vers l'architecture numérique ?

– **Reinhold Martin.** Je suggérerais d'abord de réviser un peu notre historiographie. Tout en reconnaissant la continuité d'une « discipline » architecturale en tant que discours institutionnel initié au moins au début des Temps modernes dans les langues européennes, je soulignerais les changements survenus entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle. Ce n'est pas un hasard si Jean-Nicolas-Louis Durand est souvent considéré comme un précurseur des concepteurs de systèmes algorithmiques actuels, moins pour son rationalisme que pour sa définition (et son application) d'une nouvelle division du travail qui a fini par asseoir l'architecte dans le statut de professionnel bourgeois. On parle aujourd'hui de l'architecture comme si c'était depuis toujours une discipline à fondement universitaire, avec ses propres lois, ses dogmes, ses méthodes de recherche et ses outils de pensée. En termes de pratique architecturale et de types de connaissance afférents, cela n'est devenu une réalité qu'à la fin du XIX^e siècle – et encore, de façon peu aboutie et avec de grandes différences de par le monde. De même que l'ingénierie, l'architecture est arrivée tard dans le panthéon moderne des métiers. L'université kantienne-humboldtienne ne regroupait que le droit, la médecine et la théologie au rang des « facultés supérieures » au service du souverain. Même à Berlin, l'architecture était principalement cantonnée à la Bauakademie de Karl Friedrich Schinkel, comme à Paris avec les deux Écoles (un sujet sur lequel on doit aujourd'hui tant à vos travaux !). À la fin du XIX^e siècle, les écoles d'architecture professionnelles ont rejoint les écoles de droit, de médecine et, plus tard, de commerce, dans les universités nouvelles ou fraîchement réorganisées, d'abord aux États-Unis, puis ailleurs, de façon irrégulière.

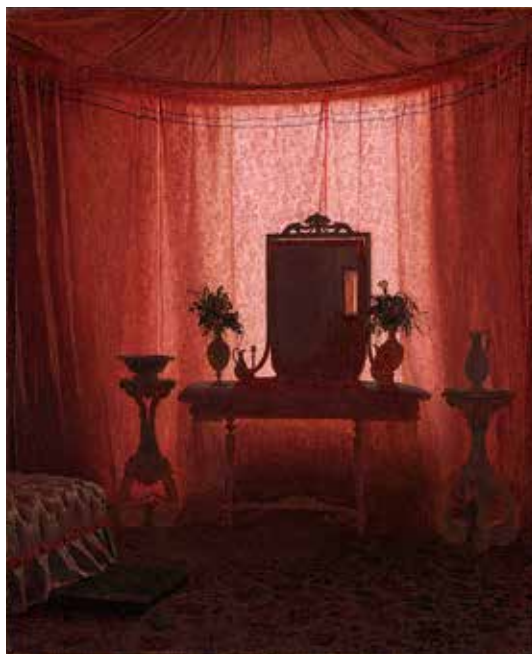
Bien sûr, cela ne veut pas dire que l'architecture n'ait pas été traitée comme un sujet d'étude académique par les universités modernes, mais seulement qu'une telle étude s'est limitée, surtout en Europe, au domaine nouveau de l'histoire de l'art, sans intégrer celui de la pratique professionnelle, principalement abordé dans les écoles des beaux-arts, les académies et les écoles polytechniques. La chose a son importance par rapport à la définition que j'ai donnée précédemment de l'architecture, notamment « numérique », en tant que métier de service. Même avant la naissance de la science informatique, l'informatisation était impensable en dehors du champ de connaissances universitaire. En tant que système technique et mode de connaissance apparu au sein même du complexe militaire-industriel-universitaire, que ce soit dans les pays de l'alliance Atlantique ou dans ceux du bloc de l'Est, la plupart de ce que l'on regroupe dans la catégorie « numérique » témoigne du réalignement des connaissances qui s'est opéré au moment de l'après-guerre dans les réseaux où ce complexe s'est formé. À ce stade, l'architecture – refondée et institutionnalisée en tant que discipline universitaire au sens à la fois culturel et technique – avait rejoint les autres professions en tant que système de connaissances (plutôt que comme pratique artisanale ou partie des beaux-arts) au service d'un nouveau souverain, malgré des différences dans les environnements capitaliste et soviétique. Dans cette perspective, la notion d'architecture « numérique » a aussi peu de sens que celles de droit « numérique » (technologiquement déterminé par Microsoft Word ou Excel ?) ou de médecine « numérique » (surdéterminée par les nouvelles technologies de l'image ?). Les nouvelles technologies jouent un rôle crucial dans tous les cas. Cependant, comme l'avait bien compris Kant, ce qui comptait le plus pour les facultés professionnelles « supérieures » était leur relation au souverain. La théologie, en tant que système de connaissances à fondement universitaire, s'est érigée en modèle universel. D'où

la métaphysique récurrente du design « numérique », depuis les toutes premières unités centrales IBM [International Business Machines Corp.] jusqu'aux « amis » de Facebook, métaphysique que, comme toujours, les disciplines inférieures, « critiques » (ou philosophiques) doivent confronter et séculariser.

– **Martin Bressani.** Les technologies ont renouvelé nos outils de représentation architecturale avant tout le reste, introduisant dans notre discipline des techniques de visualisation et de modélisation qui ont ouvert la voie à l'intégration, jusque-là guère envisageable, de toute une gamme de géométries et d'effets. Cet impact ne se limite pourtant pas strictement à l'architecture, et les industries cinématographique et publicitaire ont largement bénéficié de la modélisation numérique et des techniques de montage post-production pour démultiplier leur capacité à générer et animer des environnements artificiels. Le passage de l'analogique au numérique dans les modes de représentation a consolidé le pouvoir que nous avons de créer des mondes alternatifs, brouillant ainsi, comme on l'a souvent dit, la frontière entre réel et fictionnel. Dans *The Reconfigured Eye*, William J. Mitchell concluait qu'« aujourd'hui, alors même que nous entrons dans l'ère post-photographique, nous devons de nouveau nous confronter à l'inepugnable fragilité de nos distinctions ontologiques entre réel et imaginaire¹² ».

Ces lignes datent de 1992, à une époque où l'ouvrage de Jean Baudrillard sur les « simulacres » était encore très en vue¹³. Depuis, on peut dire que le « réel » a fait son retour sur tous les plans et que nous ne concevons plus la société uniquement en termes de systèmes sémiotiques. C'est tout particulièrement le cas en architecture, où les visualisations ont pour but d'aboutir à des réalisations. Malgré l'essor rapide de nouveaux outils de fabrication numériques, l'architecture, au contraire du cinéma et de la publicité, conserve une dimension opiniâtrement matérielle. Ce réalisme inhérent, et cette résistance potentielle aux réductions sémiotiques, n'ont pas empêché les outils numériques d'augmenter la capacité de l'architecture à modéliser l'expérience sensorielle. Non seulement les modes de visualisation et de fabrication numériques ont déplacé le contenu et les frontières de la matérialité, mais, plus fondamentalement, ils nous ont projetés dans un univers infiniment variable ou muable. En prenant exemple sur le cinéma et la publicité, l'architecture cherche de plus en plus à créer une ambiance totalisante (**fig. 3**), et des espaces affectifs. Avec la disparition des grandes séquences narratives, avec la dé-territorialisation du monde résultant de la virtualisation, c'est l'affect, ou une cartographie affective, qui permet aux gens de savoir où et comment ils peuvent se situer dans le monde et dans leurs vies. Grâce à de nouveaux outils de visualisation et de modélisation, l'architecture cherche de plus en plus à gérer nos identités affectives en transformant le monde matériel en sujet de préoccupation.

Les rapports de continuité dans l'histoire plus générale de la modernité, de leur côté, sont nombreux, à commencer par le « paramétrisme » inscrit dans la tradition classique. Fidèle à mon intérêt pour le rôle potentiel du numérique dans le cadre de ce tournant affectif,



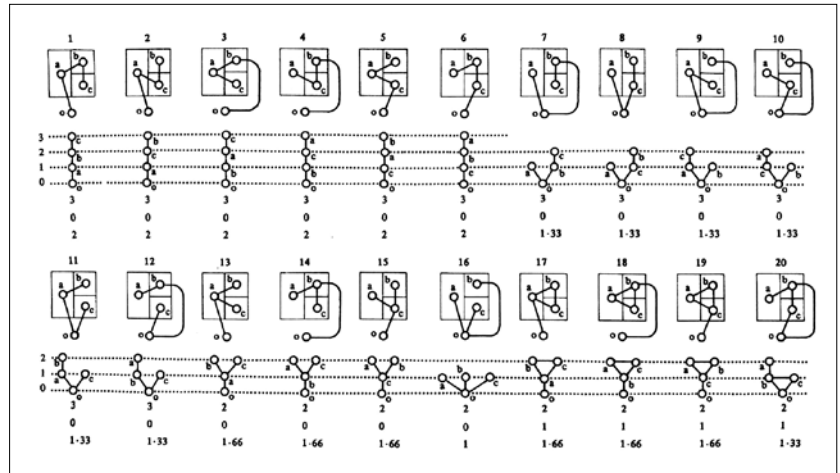
3. Johan Vilhelm Gertner, *A Room in Bernstorff Palace near Copenhagen* [Une Chambre au palais Bernstorff, près de Copenhague], vers 1845, huile sur toile, New York, The Metropolitan Museum of Art, inv. 2018.289.3.



4. Olafur Eliasson, *Rainbow assembly* [Assemblée arc-en-ciel], 2016, Séoul, Leeum Samsung Museum of Art.

je l'associerais cependant plus volontiers au concept d'œuvre d'art totale, ou *Gesamtkunstwerk*, du XIX^e siècle, ainsi qu'à l'invention d'une intériorité radicale où la frontière entre intérieur et extérieur disparaît. La mémoire et l'association ont triomphé sur le présent, l'architecture devenant une sorte de psycho-topographie par où le virtuel fait irruption dans la vie quotidienne, la réalité de tous les jours se trouvant augmentée dans la mesure où elle apparaît douée d'une dimension non familière (fig. 4). En ce sens, j'associe le développement du numérique à la prise de conscience consécutive aux Lumières selon laquelle, comme l'écrivait le théoricien français de la littérature Jean-François Lyotard, la modernité ne peut exister « sans la découverte d'un "manque de réalité" de la réalité, parallèlement à l'invention d'autres réalités¹⁴ ».

– **Theodora Vardouli.** Le terme d'« impact » implique qu'une chose entre en contact resserré avec une autre. Penser la concaténation du numérique et de l'architecture en termes d'« impact » revient ainsi à penser l'évolution d'une discipline comme une trajectoire continue, qui serait perturbée à un moment donné par une force extérieure, avec un avant et un après. Cependant, plus on le cherche, plus le « moment » du « numérique » apparaît fuyant¹⁵. Le fait est que faire commencer le numérique *avant* les ordinateurs¹⁶ permet d'envisager que les langages techniques et formels de l'architecture numérique aient été anticipés et préfigurés de façons diverses par les cultures architecturales (la plupart du temps occidentales et post-Renaissance). Comment tisser une généalogie sans anachronisme ? Jusqu'où aller sans évacuer culturellement – et matériellement – les techniques numériques inscrites dans une histoire platonicienne des idées ?



Remplaçons *avant* les ordinateurs par à *proximité* des ordinateurs, et il devient possible de situer la question sur les enjeux du numérique en architecture dans des contextes concrets, possédant chacun ses spécificités institutionnelles, épistémiques, culturelles et matérielles. Je me trouve entourée d'éminents universitaires¹⁷ lorsque je propose de

faire remonter le tournant numérique une trentaine d'années avant le « premier » tournant numérique¹⁸. Lorsque l'on passe des années 1990 aux années 1960, l'histoire de cet autre tournant se construit *autour* d'ordinateurs de la taille d'une pièce, intégrés de façon encore un peu sporadique dans les laboratoires de recherche universitaire et industrielle. L'architecture s'y trouve coincée au beau milieu de ses périodisations moderne et post-moderne, dans un reformatage des modes d'expertise, d'expérience, et de légitimité sur un arrière-fond d'idéaux et de valeurs imprégnant les institutions modernes du savoir. Les ordinateurs s'y trouvent quant à eux aux stades rudimentaires de ce que les historiens de la technologie appelleraient « clôture » ou « stabilisation ». *Comment, pourquoi* les architectes ont-ils envisagé de faire usage d'ordinateurs alors qu'ils étaient encore lointains, laborieux et lents ?

La limpidité de l'ordinateur – avec ses entrailles exposées au grand jour et ses algorithmes douloureusement transparents – a fait entrevoir à certains architectes universitaires la possibilité d'une architecture de « cage de verre¹⁹ » : processus de conception décomposés en étapes mathématiquement articulables²⁰ ; formes propulsées du statut de « brouillons sur papier²¹ » à celui d'entités d'information structurées, permettant des calculs et des simulations²² ; composition définie en tant que permutation configurationnelle sous contrainte²³. L'architecture, redéfinie à travers le prisme d'abstractions logico-mathématiques : énième chapitre, dira-t-on, dans la longue histoire de la mathématisation de l'architecture. Depuis la Renaissance, la théorie de l'architecture exploite les concepts mathématiques pour envisager l'esthétique de la forme et de l'ordre de l'espace – tendances qui ont survécu au désenchantement moderne du nombre engendré par les moyennes statistiques et par les calculs de rentabilité.

La vieille valeur de vérité attribuée par les architectes aux mathématiques a subsisté, impulsant le tournant numérique de l'architecture dans l'après-guerre. Les mathématiques ont pourtant changé en elles-mêmes. Les ordinateurs fonctionnaient selon des mathématiques *nouvelles* où il n'était plus question de formes (géométrie) ni de nombres (arithmétique) mais de structures et de relations. Quel degré de perturbation connaît un raisonnement géométrique

5. Calcul des plans d'étage possibles pour des logements trois pièces, issu de Philip Steadman, *Architectural Morphology: An Introduction to the Geometry of Building Plans*, Londres, Pion Ltd, 1983, p. 218.

sur la longue durée lorsque la géométrie se réduit à de l'algèbre – autrement dit lorsqu'elle est dépouillée de sa dimension visuo-spatiale ? Les architectes ont vu les ordinateurs comme des machines facilitant la perception et le raisonnement, non par des formes, mais par des arborescences, des réseaux, des structures, des motifs. Les ordinateurs étaient des machines permettant l'avènement de l'abstraction structurelle, un idéal intellectuel culturellement et techniquement porté par les mathématiques modernes²⁴ et revendiqué dans les vagues universitaires du structuralisme et de la théorie des systèmes (fig. 5).

Si l'engouement pour les structures et les systèmes abstraits peut apparaître nettement circonscrit dans la culture de l'après-guerre, il joue aussi, subrepticement, dans la façon dont les outils numériques décrivent et calculent les formes – de la B-Rep [*Boundary Representation*] aux voxels et des scripts de Grasshopper aux familles de BIM. Il se manifeste dans le fossé qui sépare la forme géométrique vue et les descriptions squelettiques invisibles qui la sous-tendent et la déterminent. Derrière nos écrans scintillent les squelettes du déplacement survenu dans l'après-guerre, du point de vue de la perception et du raisonnement architecturaux, de la surface apparente aux structures abstraites sous-jacentes.

– **Mario Carpo.** L'héritage le plus important du premier tournant numérique en architecture (celui qui est survenu dans les années 1990) est, de loin, la création de la « personnalisation de masse numérique » (*digital mass-customization*), ou la théorie de la sérialité non standard telle qu'elle a été conceptualisée entre autres par Bernard Cache et Greg Lynn : autrement dit, l'idée révolutionnaire selon laquelle, grâce aux outils numériques, parties identiques et parties non identiques peuvent être produites en série pour un même prix unitaire. Cette idée allait au rebours de la logique technique de la chaîne de montage moderniste, où les économies d'échelle étaient une conséquence de la production de masse et de la standardisation. La personnalisation de masse numérique se répand aujourd'hui comme une traînée de poudre dans tous les domaines de la société, de l'économie et de la culture, mais – pour le meilleur ou pour le pire – il s'agissait à l'origine d'un concept de design, élaboré dans les écoles d'architecture et porté par elles. Dans les années 1990, cette révolution idéologique s'est confondue avec l'usage du logiciel de modélisation par spline, fait pour concevoir des surfaces aérodynamiques fluides. Cette assimilation, à son tour, a engendré le style de l'aérodynamique numérique, aujourd'hui souvent appelé « paramétrisme » (voir ci-dessous), mais j'ai tendance à considérer ces deux évolutions comme conceptuellement indépendantes, quoiqu'historiquement liées.

La deuxième période du design numériquement intelligent a été marquée par ce que l'on appelle le paradigme du Big Data ainsi que par l'adoption d'une intelligence artificielle nouvelle (ou plutôt renouvelée) et de logiciels d'« apprentissage machine » (*machine learning*). L'étrange efficacité de certains outils de résolution de problèmes, particulièrement appropriés pour la simulation et l'optimisation structurelles, a stimulé l'essor de nouvelles théories scientifiques (ou post-scientifiques) ; à partir du moment où elle s'est traduite directement en termes de design, la logique artificielle (machinique) du Big Data a engendré une nouvelle esthétique chaotique, irrégulière, et parfois totalement illisible, de disjonction voxellaire.

L'étape suivante, qui ne fait aujourd'hui que commencer, verra l'application de l'intelligence artificielle, de l'apprentissage machine et des outils du Big Data à l'assemblage robotisé des parties ; la priorité accordée au design numériquement intelligent ira de pair avec un passage de la *fabrication des parties* (standard ou non standard, autrement dit basées sur la reproduction de parties identiques ou non identiques) à *leur assemblage* (standard ou non standard, autrement dit basé sur la répétition de gestes identiques ou non identiques). Tôt ou tard, l'essor de la robotisation contraindra inéluctablement les métiers du design à s'intéresser à certains des aspects sociaux, économiques, et environnementaux des technologies

numériques que les designers ont jusqu'ici majoritairement éludés. Le premier tournant numérique a transformé la technologie ; le deuxième a transformé la science ; le troisième va transformer la société – il ne s'agit pas là d'un sujet que les métiers de design craignaient autrefois d'aborder²⁵.

– **Antoine Picon.** Si l'attention a insensiblement glissé de la géométrie à la fabrication, les technologies numériques ont rendu possibles de nouvelles formes, qui soulèvent la question délicate de leur appréciation fonctionnelle et esthétique. Il y a quelques années, Patrick Schumacher et d'autres ont introduit la notion d'« élégance » comme manière possible d'aborder la question²⁶. Dans quelles directions pensez-vous que le jugement architectural évoluera dans les années à venir ?

– **Theodora Vardouli.** Les formes générées numériquement sont schizoïdes. Elles existent à la fois en tant que formes, en tant que structures, et en tant que processus. Leur apparence telle qu'elle est perceptible aux sens (*forme*) est contrôlée par une description topologique sous-jacente (*structure*) elle-même actualisée par le biais d'un calcul informatique (*processus* progressif). La difficulté n'est pas de savoir comment inventer des noms et des adjectifs pour décrire les géométries inhabituelles engendrées par le numérique, mais de savoir comment gérer ce schisme.

Le *glitch*, concept clé récurrent dans certains cycles d'art numérique, donne un exemple de catégorie esthétique propre caractérisée par un processus²⁷. Le *glitch* est le produit d'événements non anticipés révélant la disjonction entre les déterminismes de formulation algorithmique abstraite et les indéterminations qui apparaissent lorsque l'algorithme est réalisé par des puces et par des circuits matériels. Théoriquement élastique, il a été élargi de manière à englober les manifestations concrètes de contingences surgissant de l'intérieur de systèmes de certitude architecturale – sur le plan matériel, programmatique, ou autre²⁸. À un niveau élémentaire, il recontextualise l'appréciation esthétique dans le cadre de la relation entre ce qu'est une chose et l'existence pour laquelle elle a été programmée. Les vues esthétiques orientées autour de processus ont une plus longue histoire dans les travaux d'après-guerre sur l'art et le design génératifs – autrement dit l'articulation des formes à travers des procédures fondées sur des règles, avec ou sans ordinateurs. Dans leur ouvrage de 1978 *Algorithmic Aesthetics*, George Stiny et James Gips ont ainsi proposé d'évaluer les résultats d'un système génératif en élaborant un code arbitraire pour les présenter, puis de comparer la longueur de description de chaque objet avec les règles dont l'application aura été nécessaire pour aboutir à sa fabrication²⁹. Une haute valeur esthétique a été attribuée aux formes visuellement complexes mais générées avec parcimonie – unité, variété –, et c'est cette variation que Patrick Schumacher a par la suite baptisée « élégance ».

Contrairement au système génératif de Stiny et Gips, où les règles de procédure « voir-faire » étaient appliquées aux formes révélées par un calcul informatique, la plupart des systèmes de design génératifs reposent traditionnellement sur des représentations abstraites et symboliques de la géométrie. Ils décomposent celle-ci en tant que structure d'entités disjointes dont ils énumèrent ensuite les différentes configurations possibles. L'énumération des possibilités de design n'intègre pas le temps ou l'action. Elle représente un jeu de combinaisons synchronique. Elle génère ce qui se trouve déjà là, de la même façon que les configurations possibles de trois blocs de Lego existent déjà avant quelque action que ce soit, au contraire des formes possibles d'un bloc d'argile.

Comme le disait Philip Steadman dans son recueil d'études configurationnelles *Architectural Morphology*³⁰, l'énumération des possibilités produit une série de « formes sans dimensions » qui peut ensuite être instanciée avec des valeurs métriques spécifiques. Au moment où Greg



6. Stanislas Chaillou, plans urbains générés par GAN, issu de « The Iceberg, Design for the 90% », Harvard Graduate School of Design, mai 2019.

7. Philippe Morel / EZCT Architecture & Design Research (avec Hatem Hamda et Marc Schoenauer), *Computational Chair [Fauteuil computationnel]*, Études d'optimisation : dessin réalisé sur la base d'algorithmes génétiques, 2004.

Lynn enflammait l'imagination topologique des architectes avec son examen des « multi-types » et des « gammes de potentiels³¹ », les études configurationnelles du type décrit par Steadman représentaient la moins neuve des nouveautés dans le domaine de l'architecture numérique. Plus fondamentalement, il s'agissait d'une nouveauté engendrée par une relation spécifique, du point de vue historique, avec la possibilité d'une forme architecturale *aniconique* quoique douée d'une

apparence. Elle s'inscrivait dans des phénomènes culturels plus importants qui ont fait passer la beauté de la surface concrète à une structure abstraite – ce qu'Alma Steingart a appelé « esthétique axiomatique³² ».

Plus récemment, les expériences architecturales basées sur de nouvelles techniques de calcul informatique comme les *Generative Adversarial Networks* (GANs, « réseaux neuronaux antagonistes génératifs ») sont passées en quelque sorte de l'iconomachie à l'iconolâtrie en réduisant littéralement la forme architecturale à une image et en calculant statistiquement ses pixels. Cependant, pour gérer l'espace iconophile de possibilités du GAN, il reste les bonnes vieilles méthodes squelette permettant d'évaluer les performances et les rendements d'une forme. Le jugement humain est éludé du fait d'abstractions *calculables* et d'un raisonnement calculé. Penser sérieusement la place du jugement humain délibératif lorsque l'on travaille avec des techniques inventées pour le supplanter³³ est un pré-requis si l'on veut élaborer des critères d'évaluation pour des formes générées numériquement. L'avenir du jugement architectural lui laisse une place *au sein même* des processus de calcul informatique (**fig. 6**).

– **Mario Carpo.** Le terme d'« élégance » a fait l'objet d'un usage régulier à une certaine époque pour désigner les surfaces courbes et fluides engendrées par l'adoption généralisée de logiciels de modélisation par spline dans les années 1990. Le terme de « paramétrisme » a lui aussi parfois rempli la même fonction, le sens technique du mot se confondant alors avec





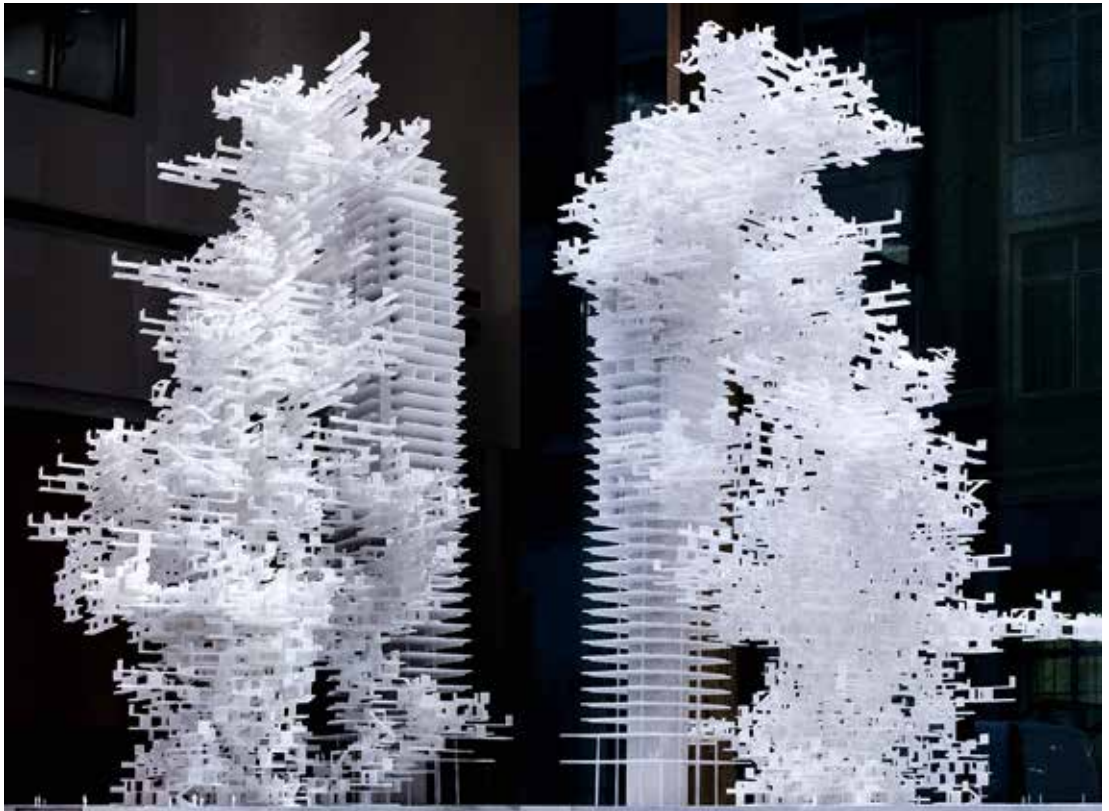
8. Alisa Andrašek, avec Bruno Juričić, *Pergola nébuleuse [Cloud Pergola]*, détail, 2018, pavillon croate, Venise, Biennale d'architecture.

certaines des conséquences formelles de l'adoption de logiciels paramétriques. Le style curvilinéaire de la modélisation par spline et du blob numérique pourrait être défini de façon plus appropriée comme une aérodynamique informatisée, mais il ne faut pas oublier que les mathématiques qui le sous-tendent

ont presque entièrement été rédigées – sans l'aide d'aucun ordinateur – par Pierre Bézier et Paul de Casteljau, tous les deux à Paris quoique séparément, entre 1958 et 1964.

Avec l'essor du Big Data et les premières applications de l'apprentissage machine ainsi que de l'intelligence artificielle dans le domaine du design, la douce curvilinéarité du premier style numérique a cédé la place à la rugueuse irrégularité et à la « résolution excessive » de la disjonction numérique (fig. 7, 8). Cette innovation a été considérée comme une esthétique inédite et en quelque sorte post-humaine avant l'heure, ce qui fait inmanquablement figure d'aberration ou d'aliénation dans la perspective d'un jugement humain (selon la définition marxiste originelle de l'aliénation comme éloignement, ou *Entfremdung*) : la « résolution excessive » de la disjonction numérique est la forme extérieure et visible d'une logique interne et invisible qui n'est plus la logique de notre esprit.

Il est trop tôt pour évaluer les conséquences esthétiques de l'adoption actuelle de la robotique dans l'assemblage automatisé des parties ou des composants architecturaux. D'après la connaissance que nous en avons à ce jour, il semble que les premiers résultats visuels de l'assemblage automatisé, robotisé, peuvent aller de l'hyper-disjonction méréologique à la massivité monumentale (fig. 9, 10), mais il est difficile de dire à quel point les raisons en sont techniques, symboliques, ou d'ordre idéologique. La nostalgie pour l'époque de la préfabrication industrielle est peut-être ici un facteur – trompeur, à mes yeux, car les logiques techniques de la préfabrication et de la robotisation ne sont liées que superficiellement. Quoi qu'il en soit, l'essor de la robotisation amplifiera les problèmes sociaux et économiques qui apparaîtront largement plus importants que les considérations esthétiques, et, à mes yeux, la priorité accordée à l'économie, à l'emploi et à la société – aux risques, aux coûts et aux bénéfices de l'automatisation – stimulera la théorie du design, au moins pendant un certain temps, aux dépens de toute autre considération. Et à bon droit, me semble-t-il.



– **Reinhold Martin.** Sur les questions d'esthétique, je suggérerais de laisser de côté la publicité des architectes et de revisiter les traditions artistiques historiques qui se sont explicitement intéressées aux sciences de l'information. Ernst Gombrich, par exemple, a plus d'une fois abordé les questions d'esthétique moderne comme celle de l'« expression » en termes logiques dérivés du code binaire. À partir des simples possibilités « on » et « off » (notoirement rebaptisées par lui « ping » et « pong »), il a élaboré une théorie de l'art, de la perception visuelle et de la cognition qui répondait implicitement, pourrait-on dire, à l'adage de Marshall McLuhan selon lequel « le médium est le message ». Si l'œuvre artistique peut jusqu'à un certain point être comparée au canal dans un circuit destinataire-destinataire, sa sémantique ou sa richesse formelle n'a jamais été réductible pour Gombrich à ses propriétés techniques, et elle dépend éminemment des conditions structurelles et contextuelles. Parmi ces dernières, les attentes du spectateur, historiquement conditionnées, ont été redéfinies en tant que probabilités basées sur des conventions sociales comme la « bienséance » artistique. Certes, Gombrich prêchait pour sa paroisse sur le plan méthodologique, et son individualisme poppérien est agaçant, mais cette perspective me paraît plus susceptible de résultats pertinents qu'une perspective qui se bornerait à accepter les prémisses de l'architecture auto-proclamée « numérique » comme conceptuellement nouvelles et originales.

Technologiquement, oui, l'introduction, dans les années 1980, de la courbe NURBS (*non-uniform rational b-spline*) dans le répertoire formel du design architectural à l'aide d'interfaces spécifiques a représenté une nouveauté. L'idée tacite était que ce « langage »

9. Daniel Koehler, avec la participation de Chen Chen, Genmao Li et Zixuan Wang (Bartlett School, Londres), *WanderYards*, maquette, 2017-2018, impression 3D en polycarbonate, 222 × 87,7 × 78,8 cm, Paris, MNAM-CCI, inv. AM 2018-2-152.

particulier (et pratiquement tous les idéologues ont reproduit en négatif les hypothèses du « virage linguistique » de l'architecture après les années 1990) était sémantiquement et techniquement lié à l'informatisation. En d'autres termes, s'il y avait un « message » commun à toutes ces formes « nouvelles » aux courbes complexes, c'était qu'elles avaient été dessinées par une machine capable de réaliser les calculs nécessaires. En partant de principes de base (que les ordinateurs ordonnent) et en reconnaissant la transgression formelle de la sémantique cartésienne (autrement dit de la grille moderniste) en tant que transgression consciente de la bienséance artistique, il apparaît que le message fondamental, c'est qu'on est désormais en possession de machines plus puissantes que celles d'acier, de verre et de béton autour desquelles la « rationalité » analogique s'est construite après les Lumières. La paternité conceptuelle et matérielle, dont celle de la fonction d'auteur, est passée des moyens de production aux moyens de reproduction. Ce n'est pas un manifeste du marketing qui nous apprendra que toute architecture « numérique » est une architecture commerciale qui fait plus ou moins subtilement la publicité des produits qui l'ont permise. L'esprit de l'artiste, pour peu qu'il reste un tant soit peu fidèle à la mission d'opposition des avant-gardes, doit rester tout aussi conscient que l'esprit de l'historiographe du fait que les moyens de reproduction – les ordinateurs – sont des produits en même temps que des technologies.

– **Martin Bressani.** L'« élégance » de Patrick Schumacher renvoie à une forme de stylisation architecturale où les différentes parties se confondent les unes avec les autres dans une surface lisse qui transforme les bâtiments en objets rationalisés comme des MacBooks ou des iPhones. Le centre aquatique de Zaha Hadid pour les Jeux olympiques de Londres offre un exemple d'une telle fluidité, donnant l'illusion que le bâtiment est un produit fonctionnel minimal et efficace. Les outils numériques ont certes été essentiels pour la conception et pour la construction d'objets aussi fluides, intégrant étroitement des contraintes matérielles et structurelles au sein d'une géométrie tout en continuité et en complexité ; mais nul discours philosophique ou historique ne peut être construit pour faire d'une telle « élégance » l'esthétique caractéristique d'une architecture numérique. Son formalisme est décoratif au sens creux d'une forme signature. Il part d'une fascination pour une ingénierie extrême, où les moyens de

10. Gilles Retsin Architecture,
Pavillon pour la Biennale d'architecture
de Tallinn, 2017.



production restent cachés afin de déconcerter le spectateur. En tant qu'architecture qui ne privilégie le sujet que dans la mesure où sa forme spectaculaire est faite pour être vue, elle est plus apte à servir des fins commerciales qu'à nous mener vers des audaces esthétiques stimulantes.

Au lieu de privilégier la « stylisation » du numérique, il me semble qu'on a ici, de façon peut-être contre-intuitive, une opportunité de remonter à la définition originale de l'esthétique en tant que « science de la connaissance sensorielle ». De fait, c'est la distorsion de la perception due aux progrès de la technologie et des médias qui, comme un effet secondaire peut-être, oriente vers une phénoménologie de l'expérience. La technologie peut produire de la perception pure. Le danger est ici de tomber dans le piège d'une économie de l'expérience où les souvenirs font office de nouveau produit. Ainsi l'architecture est-elle mobilisée pour créer des spectacles, sur le modèle des jeux vidéo (fig. 11). Aucune stratégie esthétique particulière n'a pourtant jamais protégé l'architecte ou l'artiste du risque de cooptation. Il ne reste qu'à espérer que les conditions du spectacle nous permettront d'imaginer autre chose que des expériences pré-déterminées, et ainsi d'expérimenter les sortes d'atmosphères où nous voulons vivre collectivement.



11. Pipilotti Rist, *Administrating Eternity* [Administration de l'éternité], vue de l'installation dans l'exposition *Komm Schatz, wir stellen die Medien um & fangen nochmals von vorne an*, Krems (Autriche), Kunsthalle, 2011.

– **Antoine Picon.** Du BIM à la consolidation des pratiques, le numérique remodèle en profondeur le métier d'architecte. Dans quelles directions jugez-vous que ce métier évoluera dans les années à venir ? Cette évolution implique-t-elle une redéfinition substantielle de la notion d'auteur en architecture ?

– **Martin Bressani.** Dans leur forme « idéalisée », les logiciels BIM permettent le développement d'un processus radicalement collaboratif, où designers, ingénieurs, constructeurs, gestionnaires, et toutes sortes de consultants, depuis les analystes des coûts jusqu'aux intervenants communautaires, ont quasiment la possibilité de travailler simultanément les uns avec les autres. Le projet prend forme à travers le dialogue, ou sans doute plus précisément à travers la négociation, entre divers participants, un scénario qui, concrètement, aboutit à une redéfinition fondamentale de la notion d'auteur en architecture, voire à sa disparition qui, au moins potentiellement, peut s'avérer libératrice. Le BIM peut avoir des effets positifs si cette collaboration réunit des voix différentes et distribue jusqu'à un certain point les rôles, les fonctions et les incidences, avec pour objectif de canaliser les expériences collectives des « modes d'existence », pour user d'une expression latourienne. Il peut inversement avoir

des effets négatifs s'il ne sert qu'à augmenter le niveau de contrôle, d'efficacité et de profit, ce qui donnerait une plus grande latitude aux gestionnaires de construction pour maîtriser toutes les étapes de la production architecturale et en ferait de ce fait les auteurs cachés. Le BIM ne transformera peut-être pas à un même degré tous les aspects des pratiques architecturales, mais en tant qu'outil clé pour la gestion des possibilités, il ouvrira peut-être aussi une possibilité d'exploration de formes nouvelles, ce qui en ferait un logiciel expérimental des modes de partage du monde.

– **Theodora Vardouli.** Les outils numériques, de « Digital Specialist » à « CAD [Computer-Aided Design] Monkey », ont introduit de nouveaux types d'expertise au sein des agences d'architecture. Si les pyramides hiérarchiques restent opiniâtrement inertes³⁴, la prolifération de certains types de logiciels architecturaux a ravivé les vieux fantasmes d'une profession plus horizontale, interdisciplinaire et collaborative. C'est ainsi que Peggy Deamer a prié les générateurs de modèle BIM d'assumer leur rôle de travailleurs du savoir et d'user du pouvoir qui leur était donné de structurer les processus de conception et de construction³⁵. Les études ethnographiques sur le BIM brossent un tableau moins optimiste des conséquences de la délégation à un système d'information des traductions entre les sphères professionnelle et matérielle : compter sur une communication fluide génère souvent des accroc³⁶. Le bilan des effets du travail architectural numériquement médié que dresse Deamer est néanmoins lucide. Chaque projet se présente avec un code, qui, en tant que tel, est recombinaisonnable et remixable³⁷.

Mario Carpo voit dans cette condition un défi total à un modèle d'architecture centré autour d'un auteur unique. Il propose un modèle de paternité « agrégative » qui repose sur les variations, les corrections et les reconfigurations effectuées « par les nombreuses mains³⁸ » – une architecture plus ou moins en libre accès. Si « tout en code source ouvert³⁹ » était un slogan populaire dans la décennie consécutive à l'avènement du 2.0, son application dans les domaines impliquant des artefacts matériels n'est pas si claire⁴⁰. En logiciel, le code fournit un accès *direct* au produit, l'exécution sans équivoque étant l'un des piliers du libre accès. Pourtant, comme je l'ai démontré dans un article coécrit avec Leah Buechley⁴¹, tant que les architectes gardent des visions figées de la géométrie ainsi qu'un contrôle matériel des outils numériques, la réalisation des représentations architecturales laisse heureusement la place à des contingences matérielles et interprétatives. L'architecture en libre accès n'en continue pas moins de résonner et de provoquer l'enthousiasme – un écho des fantasmes de démocratisation et de déprofessionnalisation que les architectes ont projetés sur les technologies numériques vers 1970.

La question de savoir si les ordinateurs sont des alliés ou des ennemis de l'architecte professionnel est un grand classique. Ainsi Walter Gropius voyait-il les ordinateurs comme les « outils d'un contrôle mécanique supérieur » qui promettait de libérer les architectes de la routine et des tâches répétitives ainsi que d'offrir « une liberté plus grande encore dans le processus créatif⁴² ». Cette profession de foi – énième argument de vente pour les systèmes CAD et BIM –, a rejoint le versant conservateur des fantasmes sur les protocoles homme-machine dans les années 1960. Le fantasme de Gropius donne un exemple de ce que le mécène de la recherche informatique Joseph Carl Robnett Licklider a notoirement appelé « extension mécanique », parallèlement à la coopération ou au remplacement.

La coopération – « symbiose⁴³ », « augmentation⁴⁴ », « partenariat⁴⁵ » – faisait des ordinateurs des amplificateurs de la pensée et de l'imagination humaines. L'incarnation technique de cet idéal architectural prenait souvent la forme d'un système génératif qui gérait informatiquement les possibilités de design à partir de certaines contraintes et de certains critères pour ensuite les réaliser, soit toutes⁴⁶ soit l'une d'entre elles⁴⁷, soit à l'écran, soit en tant que reconfiguration matérielle d'un artefact⁴⁸. La paternité architecturale n'apparaît pas

au même endroit *avant et après* le calcul informatisé des possibilités : elle devient *définition de contraintes et choix modulaires*. Considérée en tant que choix modulaire, elle est accessoire. Les algorithmes gérés par ordinateur sont depuis longtemps capables de réduire en contraintes des données relatives à des contextes et à des programmes⁴⁹. Ils sont également capables depuis longtemps de choisir des solutions optimales ou sous-optimales à des problèmes sous contraintes. Les menus combinatoires et les choix calculables continuent de nourrir les rêves et les peurs d'une oblitération de l'architecte. La mort de l'auteur suppose cependant une définition particulière du texte. Si la plupart des techniques informatisées promettent le contraire, la pratique de l'architecture ne relève pas d'une combinatoire structuraliste.

– **Mario Carpo.** La paternité architecturale n'avait aucune existence au Moyen Âge : qui a conçu la cathédrale de Chartres ? Personne en particulier, ce qui ne l'empêche pas d'avoir été construite et de représenter un chef-d'œuvre architectural. C'est la preuve, de toute évidence, qu'il peut y avoir une architecture en l'absence d'auteur au sens moderne. L'invention de l'architecture en tant que partie des beaux-arts (autrement dit en tant qu'art de design à la fois auctorial, allographique et notationnel) n'est arrivée qu'avec l'humanisme moderne et la Renaissance ; cette vision de l'architecte comme auteur humaniste, caractéristique de l'humanisme européen depuis le début de l'époque moderne, n'avait jamais eu cours auparavant, et elle n'a toujours pas cours aujourd'hui en dehors de ce cadre culturel. Le design informatisé, comme la plupart des réalités numériques, est intrinsèquement opposé à la paternité moderne, humaniste : par sa logique même sur le plan technique, tout ce qui est informatisé ou paramétrique aujourd'hui est participatif, collaboratif, volontiers anonyme, interactif, et collectif en esprit. Ayn Rand et Howard Roark n'auraient pas adhéré, s'ils étaient encore là pour en être témoins. Alberti non plus, ni Brunelleschi, d'ailleurs, qui s'est opposé avec tant de force à la dimension collaborative des artisanats et des guildes à son époque. Le BIM a été conçu pour permettre une collaboration interactive. Wikipédia aussi qui, contre toute attente, fonctionne remarquablement bien. La majeure partie des architectes formés dans la tradition humaniste occidentale ont cependant tendance, encore aujourd'hui, à négliger la sagesse des foules (Bob Venturi et ses disciples étant parmi les plus importantes exceptions). Je me souviens que vers 2006-2008, les gens parlaient sans cesse de la transition imminente « de la personnalisation de masse à la participation de masse », qui ne s'est finalement jamais produite et qui, à mon avis, ne se produira pas avant un certain temps, du moins en Occident. Le cas de l'Asie est différent.

– **Reinhold Martin.** Pour revenir à votre première question, et au débat qu'elle soulève quant à la pratique commerciale par opposition à l'« avant-garde » pour le BIM et les logiciels associés, le fantasme dominant implique l'élimination de la représentation : l'absolue transparence ; ou, pour dire les choses autrement, la fusion de la production et de la reproduction au point que la différence entre dessiner une ligne sur un écran – c'est-à-dire la « saisie » (*inputting*) et le « traitement » (*computing*) – et ériger un bâtiment sur site (*outputting*) apparaît négligeable. Il s'agit d'un nouvel avatar de ce vieux fantasme qui vise à l'élimination du travailleur, associé dans les années 1950 au rêve cybernétique de la chaîne de production automatisée qui, comme Norbert Wiener l'avait bien annoncé, était avant tout dirigé contre les intérêts des syndicats⁵⁰. Ce n'est pas un hasard si les chantiers des entrepreneurs « numériques » les plus tapageurs, dont celui que vous avez mentionné précédemment, ont parfois été réalisés – non sans polémique – grâce à des conditions de travail proches de l'esclavage, comme au Qatar et aux Émirats arabes unis. Sans entrer dans le détail du niveau d'exploitation, on doit considérer ces situations comme paradigmatiques, et non comme exceptionnelles. Le rêve post-cybernétique, partiellement réalisé par le BIM,

est celui d'un chantier entièrement automatisé. Pour user d'une terminologie qui souligne le statut socio-économique de l'architecte, on peut dire que cette évolution implique, du point de vue bourgeois de celui-ci, une « architecture sans architectes » et, du point de vue de la main-d'œuvre, une « architecture sans ouvriers », d'une forme nouvelle.

En ce sens, le BIM est à la fois un produit – vendu à grands renforts de propagande commerciale et de séminaires de formation par Autodesk, le champion Big Tech en architecture – et une sorte de pré-produit, autrement dit un système infrastructurel dont dérivent des produits comme les bâtiments ainsi que d'autres signifiants. En revenant à la tradition warburgienne, je crois qu'on peut utilement présenter ces sortes de systèmes comme des variations de la « forme symbolique » d'Erwin Panofsky (et d'Ernst Cassirer). Ils créent les conditions infrastructurelles de certains modes de production de sens. De même que la perspective linéaire, ils imposent aussi l'ordre dans un monde sans ordre. Suivant l'exemple même du BIM, je ne fais qu'étendre cette logique de la sphère de la reproduction à la sphère de la production. Il n'y a rien de plus chaotique pour un promoteur immobilier qu'une grève des ouvriers sur un chantier. Éliminer la menace de tels manquements à la « bienséance » en automatisant la production (et, sur de nombreux sites, en incapacitant les syndicats) est un remède classique. Le BIM représente son horizon techno-politique⁵¹.

Il ne s'agit pas de dire que les sites de construction ne doivent pas être automatisés, mais seulement qu'il faut reconnaître la portée idéologique des efforts déployés pour naturaliser la production et la reproduction « numériques », que ce soit dans le domaine académique de la théorie ou du point de vue algorithmique dans les usines de programmation d'Autodesk. Il ne s'agit pas non plus de renforcer le caractère définitif de ce qui apparaît comme un changement de paradigme ou comme une rupture épistémologique en lien avec l'informatisation du poste de travail de l'architecte, du site de construction, ou les deux. Pour revenir un instant à Panofsky, il est intéressant de remarquer que la grille cartésienne représente une singulière survivance dans la transition prétendue du « paradigme » de la perspective à celui du jeu de données représenté par le BIM. À peine au-dessus du langage informatique avec ses 1 et ses 0 dans le transcodage de Gombrich, les grilles organisent presque tout dans l'interface du BIM, des pixels sur l'écran à la position des points (de même qu'à l'information dont ils sont les vecteurs) dans un espace à trois dimensions. Une mission pour les historiens qui voudront mieux comprendre le tournant numérique en architecture consistera donc à reconstruire les généalogies complexes de ces grilles, en tant qu'opérateurs épistémologiques, techniques, et culturels.

– **Antoine Picon.** Finalement, en tant que théoriciens et historiens mais aussi formateurs, comment envisagez-vous votre rôle au beau milieu de ces diverses évolutions ?

– **Mario Carpo.** Je ferai ici une réponse plus courte. J'enseigne depuis trente-deux ans sans interruption l'histoire et la théorie de l'architecture ainsi que l'histoire de la théorie du design. Le tournant numérique n'a rien changé à cette activité. Ce qui change – ce qui a changé –, c'est le rôle du précédent dans le domaine du design architectural, et par conséquent le rôle de l'histoire dans le programme des écoles professionnelles de design. J'ai des convictions très arrêtées sur ce point, mais celui-ci n'a rien à voir avec les ordinateurs – ou bien peu.

– **Martin Bressani.** Loin du préjugé trop répandu selon lequel les formateurs doivent préparer des professionnels « prêts pour l'avenir », je juge que notre rôle en tant que théoriciens et critiques est de rappeler que l'histoire aurait pu être différente, et de cultiver le scepticisme vis-à-vis des mythes du progrès. Il ne s'agit pas de limiter le champ de l'innovation, que ce soit sur le plan technologique ou autre, mais une attitude critique ne peut que développer la conscience du lien entre nature et culture, surtout lorsque le télescopage du culturel

et de l'économique est de plus en plus envahissant. De ce point de vue, je ne vois pas en quoi le tournant numérique changerait quoi que ce soit sur le plan général à notre mission en tant que théoriciens. La théorie est un outil de modélisation qui permet de saisir les diverses logiques à l'œuvre dans le monde d'aujourd'hui, l'avènement du numérique n'étant que l'une d'entre elles, et de trouver ainsi sa place dans des trajectoires sociales et économiques en un sens plus large. « Trajectoires » apparaît ici comme un mot-clé, car il n'est pas possible de développer et de maintenir des connaissances sans perspective historique. Toutes les formes d'analyse historique ne sont cependant pas toujours utiles et pertinentes au même degré. De même que l'histoire est nécessaire à la théorie, la théorie doit redéfinir le champ de la connaissance historique.

– **Theodora Vardouli.** Après avoir étudié dans des départements d'architecture, de sciences et de technologie, et de sciences informatiques, je valorise le traitement des sujets à travers le prisme de langages et de traditions multidisciplinaires. Je me consacre à une recherche qui se situe au carrefour, au croisement, ou dans une zone de convergence. En ce qui concerne l'architecture numérique, je trouve la métaphore de la « zone de convergence » (*common ground*) d'une utilité à la fois historique et méthodologique. Elle implique la reconnaissance du fait que l'architecture numérique s'est développée à la jonction d'un certain nombre de cultures épistémiques et de modes d'expertise technique, mais aussi du fait qu'en tant que discipline universitaire, elle doit se montrer intraitablement *polyglote*. Dans notre ouvrage *Computer Architectures: Constructing the Common Ground*, Olga Touloumi et moi déployons un éventail de méthodologies pour envisager stratégiquement les relations entre architecture et informatique⁵². Nous souhaitons voir se dessiner un *espace polyglote*, défini comme un espace où de nombreux langages sont parlés et compris (*multilingue*), qui ne peut exister qu'à travers une multitude de voix (*polyphonique*), où les échelles d'analyse sont variables (*scalaire*), et qui change de forme (*protéiforme*). L'idée est ici d'enrayer les tentatives faites pour théoriser ou pour interpréter historiquement l'« architecture numérique » d'un seul bloc, et d'en faire plutôt un domaine en expansion, susceptible de générer des questionnements qui inspireront à leur tour de nouvelles enquêtes et de nouvelles pratiques.

Dans ma propre recherche, je m'efforce de développer une sensibilité critique et historique autour des *techniques* mathématiques et algorithmiques enveloppées dans les outils numériques, d'exposer les cultures où elles ont été imbriquées, et d'envisager leurs implications théoriques et pratiques quant aux *processus* de design architectural. Sur un plan élémentaire, chaque algorithme est une théorie de processus. Je retrace l'histoire de la mathématisation et de l'algorithmisation des concepts et des missions de l'architecture en tant qu'elle a évolué à proximité des ordinateurs numériques, pour étudier au bout du compte la façon dont les architectes, selon le mot de Michael Mahoney, « ont inséré leur portion du monde dans l'ordinateur⁵³ ».

En tant que formatrice dans une école d'architecture, je me sers des outils numériques pour exposer les étudiants à des traditions plus larges de la pensée informatique et mathématique en architecture, avec ou sans ordinateurs. Dans mes interprétations comme dans mes exercices pratiques de design où je subvertis stratégiquement la logique des logiciels d'architecture, je cherche à rendre les outils numériques plus transparents pour les étudiants et à nourrir leurs intentions et leurs questionnements à leur égard. En d'autres termes, les étudiants développent des aptitudes informatiques, mais n'abordent pas le logiciel dans un esprit de construction d'aptitude. Dans le laboratoire, je puise dans les traditions des systèmes formels et du design génératif en architecture et en art, mais ce qui m'intéresse, ce sont les opportunités qui se déploient lorsqu'un calcul informatique est réalisé par un « ordinateur » *humain* capable d'une interprétation à la fois sensible, analogique et narrative de ses règles

et de ses résultats – autrement dit lorsqu’un calcul informatique est doué d’un pouvoir évocateur et d’une ambiguïté. Mon laboratoire de recherche en design – CoDEX (*Computational Design Exploratory*) – est ainsi nourri par mes recherches comme par mon enseignement : il vise à la conception et à la production d’artefacts discursifs (conversationnels) exposant les mécanismes de diverses techniques numériques de design. J’écrase le numérique à l’aide de diverses techniques architecturales afin de laisser le champ libre à l’apparition de nouvelles distinctions. D’abord la démythification, ensuite le réenchantement.

– **Reinhold Martin.** Depuis maintenant un certain nombre d’années, je donne à l’École d’architecture, d’urbanisme, et de préservation du patrimoine de la Columbia University un cours intitulé « La visualisation en architecture depuis 1900 ». Structurant ma pensée autour des axes évoqués précédemment, et dépassant largement le cadre de l’histoire de l’informatisation, j’en suis peu à peu venu à envisager ce cours comme une histoire de la modernité en architecture, retraçant la façon dont elle s’est déployée tout au long du XX^e siècle dans divers environnements de par le monde. Il ne s’agit pas, disons, d’un cours sur le modernisme en architecture et sur les technologies de la représentation, car nous nous intéressons également à des travaux clairement non modernistes, voire anti-modernistes, comme les esquisses d’Edwin Lutyens pour le complexe impérial britannique à New Delhi, réalisées à la période du Bauhaus en Allemagne. Ceci nous amène à nous demander : quel est l’emblème le plus pur de la modernité en architecture, une petite académie des beaux-arts à Weimar, ou un monument au crépuscule de l’impérialisme européen ? Penser ainsi nous permet par ailleurs de reconsidérer dans une perspective comparée les travaux de la « nouvelle monumentalité » moderniste, tel le complexe du Capitole de Charles-Édouard Jeanneret à Chandigarh, conçu en collaboration avec Jane Drew, Maxwell Fry et beaucoup d’autres, relativement à la division du travail impliquée, avec notamment la présence du jeune Balkrishna Doshi dans l’équipe de design et la participation physique de nombreuses femmes subalternes que l’on peut voir sur le chantier dans les photographies de Jeanneret qui ont été publiées (comme l’a fait remarquer Vikramaditya Prakash⁵⁴). En gardant à l’esprit l’importance conceptuelle de la « signature » numérique (et analogique), je me fais d’ailleurs un devoir d’utiliser le « vrai » nom de Jeanneret, plutôt que son « pseudonyme » professionnel, – le super-héros de légende « Le Corbusier » – pour souligner certaines des dynamiques que j’ai évoquées précédemment.

En somme, dans ce cours comme ailleurs, j’envisage l’histoire de l’architecture comme une forme socialement et politiquement inscrite d’histoire des médias. Suivant le sous-titre « L’informatisation aux commandes », nous partons ainsi de cette réalité élémentaire selon laquelle les ordinateurs ordonnent et, plus généralement, les médias médient, et nous passons en revue des ressources aussi diverses que des publicités pour Autocad dans les magazines professionnels des années 1980, les tentatives faites à la même période par de grandes entreprises comme Skidmore, Owings & Merrill (SOM) ou Hellmuth, Obata & Kassabaum (HOK) pour rédiger leur propre logiciel, et les efforts plus récents – et d’ailleurs un peu paradoxaux – des entrepreneurs de la discipline pour exploiter des logiciels comme Maya et Softimage dans le sens de « signatures » anti-autoriales susceptibles d’être décisives dans une carrière. Les étudiants d’architecture, qui se familiarisent avec des interfaces plus récentes dans leurs ateliers de design et dans d’autres cours, introduisent immanquablement de belles intuitions – et de belles connaissances – dans le débat sur ces sujets. Je m’efforce d’apprendre d’eux, mais aussi d’historiciser les mythes qu’on leur enseigne et qui circulent non seulement sous des formes analogiques dans les classes et dans les ateliers de design, mais aussi numériquement sur diverses plateformes en ligne et sur les réseaux sociaux. Certes, c’est là – historiciser – la tâche même de l’historien, mais nous devons veiller

à ne pas nous contenter de reproduire les catégories et les cadres qu'ils nous sont transmis par nos collègues architectes. En tant que modestes représentants des facultés philosophiques inférieures, tant par leur orientation théologique que professionnelle, nous devons aussi à ce qui reste des Lumières de nous équiper, en même temps que d'équiper nos lecteurs et nos étudiants, d'outils pour argumenter, et non pas toujours (comme dirait Kant) pour obéir.

Les contributions de Martin Bressani, Mario Carpo, Reinhold Martin et Theodora Vardouli ont été traduites de l'anglais par Étienne Gomez.

Martin Bressani

Martin Bressani est titulaire de la chaire Sir William C. Macdonald et directeur de l'école d'architecture Peter Guo-hua Fu à l'université McGill. Il est l'auteur d'une monographie sur l'architecte et théoricien français Viollet-le-Duc, *Architecture and the Historical Imagination: Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc* (Ashgate, 2014), et a codirigé *Gothic Revival Worldwide: A. W. N. Pugin's Global Influence* (Presses de l'université de Louvain, 2017) ainsi que *The Companions to the History of Architecture – Nineteenth-Century Architecture* (Wiley-Blackwell, 2017). Il est l'auteur de nombreux essais et articles parus dans des ouvrages et des revues universitaires.

Mario Carpo

Mario Carpo est titulaire de la chaire Reyner Banham de théorie et d'histoire de l'architecture, à Bartlett, University College London. Ses recherches et ses publications se concentrent sur la relation entre la théorie de l'architecture, l'histoire culturelle, et l'histoire des médias et des technologies de l'information. Son ouvrage *Architecture in the Age of Printing* (The MIT Press, 2001) a été traduit dans plusieurs langues, notamment en français (*L'Architecture à l'âge de l'imprimerie*, La Villette, 2009). Ses livres les plus récents sont *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence* (2017), *The Alphabet and the Algorithm* (2011) et *The Digital Turn in Architecture, 1992-2012* (2012).

Reinhold Martin

Reinhold Martin est professeur d'architecture à la Graduate School of Architecture, Planning, and Preservation de la Columbia University, où il dirige le Temple Hoyne Buell Center for the Study of American Architecture. Le livre le plus récent de Martin, *Knowledge Worlds: A Media History of the Modern University*, sera publié par Columbia University Press.

Antoine Picon

Antoine Picon enseigne l'histoire de l'architecture à la Graduate School of Design de la Harvard University. Il est également directeur de recherches à l'École nationale des ponts et chaussées et président de la Fondation Le Corbusier. Ses travaux récents portent sur l'architecture et la ville à l'ère numérique. Il est notamment l'auteur de *Digital Culture in Architecture* (Bâle, Birkhäuser, 2010), *Ornament: the Politics of Architecture and Subjectivity* (Chichester, Wiley, 2013 et Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2017 pour la traduction française), *Smart Cities: A Spatialised Intelligence* (Chichester, Wiley, 2015), *La Matérialité de l'architecture* (Marseille, Éditions Parenthèses, 2018).

Theodora Vardouli

Après avoir obtenu son doctorat en 2017 (MIT), Theodora Vardouli est *Assistant Professor* à l'école d'architecture Peter Guo-hua Fu à l'université McGill. Elle a codirigé *Computer Architectures: Constructing the Common Ground* (Routledge, 2019) et elle travaille actuellement sur le manuscrit de *Graph Vision: Digital Architecture's Skeletons*, un livre qui situe l'introduction des ordinateurs en architecture dans le cadre des cultures de l'abstraction architecturales et mathématiques d'après-guerre.

NOTES

1. Lev Manovich, « Database as Symbolic Form », dans Victoria Vesna (dir.), *Database Aesthetics: Art in the Age of Information Overflow*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 2007, p. 39-60.
2. Johanna Drucker, *SpecLab: Digital Aesthetics and Speculative Computing*, Chicago, University of Chicago Press, 2009.
3. Johanna Drucker et Brad Freeman (photographies), *Emerging Sentience*, Charlottesville / Atlanta, JAB Books, 2001.
4. Antoine Picon, *Digital Culture in Architecture*, Basel, Birkhäuser Architecture, 2010 ; Mario Carpo (dir.), *The Digital Turn in Architecture 1992–2012*, Chichester, Wiley, 2012 ; Gregg Lynn, *Archaeology of the Digital*, Montréal, Sternberg Press, 2014.
5. Mario Carpo, « Digital Style », dans *Log*, n° 23, 2011, p. 41-52.
6. Peggy Deamer, « Marx, BIM, and Contemporary Labor », dans Karen M. Kensek et Douglas Noble (dir.), *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, Inc., 2015, p. 313-319 ; Matthew Allen, « Arata Isozaki and the Invisible Technicians », dans *Origins of the Digital*, Canadian Center for Architecture, 2016 [en ligne : <https://www.cca.qc.ca/en/issues/4/origins-of-the-digital/40596/arata-isozaki-and-the-invisible-technicians> (consulté le 11 novembre 2019)] ; Aaron Tobey, « Architect as User: Software and the Value of Work », dans *Journal of Architectural Education*, vol. 73, n° 2, 2019, p. 146-155.
7. John May, « Everything is Already an Image », dans *Log*, n° 40, 2017, p. 9-26.
8. Gilles Retsin (dir.), *Discrete: Reappraising the Digital in Architecture*, Oxford, John Wiley & Sons, Ltd (coll. « Architectural Design », 89), 2019.
9. Tim Ingold, « Of Blocks and Knots: Architecture as Weaving », dans *The Architectural Review*, n° 25 octobre 2013, p. 26-27.
10. Henry-Russell Hitchcock, « The Architecture of Bureaucracy and the Architecture of Genius », dans *Architectural Review*, n° 101, janvier 1947, p. 3-6.
11. Daniel Bell, *The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting*, New York, Basic Books, 1973.

12. William J. Mitchell, *The Reconfigured Eye: Visual Truth in the Post-photographic Era*, Cambridge, Mass. / Londres, The MIT Press, 1992.
13. Jean Baudrillard, *Simulacres et simulation*, Paris, Galilée, 1981.
14. Jean-François Lyotard, *The Postmodern Condition: A Report on Knowledge*, Geoffrey Bennington et Brian Massumi (Engl. Transl.), avec une préface de Fredric Jameson, Manchester, Manchester University Press, 1984, p. 77 [édition originale : *La Condition postmoderne : rapport sur le savoir*, Paris, Éditions de Minuit, 1979].
15. Andrew Goodhouse (dir.), *When is the Digital in Architecture? / Quand le numérique marque-t-il l'architecture ?*, Montréal / Berlin, Canadian Center for Architecture / Sternberg Press, 2017.
16. Roberto Bottazzi, *Digital Architecture Beyond Computers: Fragments of a Cultural History of Computational Design*, Londres, Bloomsbury Publishing USA, 2018.
17. Arindam Dutta (dir.), *A Second Modernism: MIT, Architecture, and the "Techno-Social" Moment*, Cambridge, Mass. / Londres, The MIT Press / SA+P Press, 2013 ; Daniel Cardoso Llach, *Builders of the Vision: Software and the Imagination of Design*, New York, Routledge, 2015 ; Sean Keller, *Automatic Architecture: Motivating Form After Modernism*, Chicago, University of Chicago Press, 2017 ; Molly Wright Steenson, *Architectural Intelligence: How Designers and Architects Created the Digital Landscape*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 2017.
18. Carpo, 2012, cité n. 4.
19. Jonathan Barnett, « Glass Box and Black Box », dans *Architectural Record*, juillet 1968, p. 127-128.
20. Christopher Alexander, *Notes on the Synthesis of Form*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1964.
21. Ivan Sutherland, « Structure in Drawings and the Hidden-Surface Problem », dans Nicholas Negro Ponte (dir.), *Reflections on Computer Aids to Design and Architecture*, New York, Petrocilli / Charter, 1975, p. 73-77.
22. Charles Eastman, « The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design », dans *AIA Journal*, vol. 63, n° 3, 1975, p. 46-50.
23. Philip Steadman, « Graph-Theoretic Representation of Architectural Arrangement », dans Lionel March (dir.), *The Architecture of Form*, Londres, Cambridge University Press (coll. « Cambridge Urban and Architectural Studies »), 1976, p. 94-115 ; Philip Steadman, *Architectural Morphology: An Introduction to the Geometry of Building Plans*, Londres, Pion Ltd, 1983.
24. David Aubin, « The Withering Immortality of Nicolas Bourbaki: A Cultural Connector at the Confluence of Mathematics, Structuralism, and the Oulipo in France », dans *Science in Context*, vol. 10, n° 2, 1997, p. 297-342 [en ligne, DOI : <https://doi.org/10.1017/S0269889700002660>].
25. Les deux premiers chapitres de cette histoire (d'une part l'invention de la personnalisation de masse numérique et la paternité distribuée entre les années 1990 et le début des années 2000, de l'autre l'essor du Big Data et le disjonctionnisme au XXI^e siècle) correspondent dans l'ensemble aux sujets que j'ai abordés respectivement dans *The Alphabet and the Algorithm* (Cambridge, Mass., The MIT Press, 2011) et *The Second Digital Turn* (Cambridge, Mass., The MIT Press, 2017) ; on se reportera à ces deux livres pour plus de précisions, ainsi que pour des indications bibliographiques. Le chapitre suivant n'a pas encore été écrit.
26. Patrick Schumacher, « Arguing for Elegance », dans Helen Castle, Ali Rahim et Hina Jamelle (dir.), *Elegance, Architectural Design [AD]*, vol. 77, n° 1, janvier-février 2007, p. 28-37.
27. Voir par exemple : Iman Moradi (dir.), *Glitch: Designing Imperfection*, New York, Mark Batty Publisher, 2009 ; Rosa Meckman, *The Glitch Moment(um)*, Amsterdam, Institute of Network Cultures, 2011 ; Peter Krapp, *Noise Channels: Glitch and Error in Digital Culture*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 2011.
28. Par exemple : Betti Marenko, « The un-Designability of the Virtual. Design from Problem-Solving to Problem-Finding », dans Gavin Sade, Gretchen Coombs, et Andrew McNamara (dir.), *Un Design*, Londres, Bloomsbury Continuum, 2016.
29. George Stiny et James Gips, *Algorithmic Aesthetics: Computer Models for Criticism and Design in the Arts*, Berkeley, Cal., University of California Press, 1978.
30. Steadman, 1983, cité n. 23.
31. Greg Lynn, *Animate Form*, New York, Princeton Architectural Press, 1999.
32. Alma Steingart, « The Axiomatic Aesthetic », dans Olga Touloumi, Theodora Vardouli (dir.), *Computer Architectures: Constructing the Common Ground*, Abingdon / New York, Routledge (coll. « Research in Design, Technology and Society Series »), 2019.
33. Paul Erickson, Judy L. Klein, Lorraine Daston, Rebecca Lemov, Thomas Sturm et Michael D. Gordin, *How Reason Almost Lost Its Mind: The Strange Career of Cold War Rationality* (2013), Chicago, University of Chicago Press, 2015.
34. Eva Franch i Gilabert, Ana Milijački, Ashley Schafer et Michael Kubo (dir.), *OfficeUS Atlas*, Zurich, Lars Müller Publishers, 2017.
35. Peggy Deamer, « BIM and Contemporary Labor – Pidgin 15 », 2012 [en ligne, URL : <http://www.peggydeamer.com/images/bim/pidgin.pdf>].
36. Carrie S. Dossick et Gina Neff, « Messy Talk and Clean Technology: Communication, Problem-Solving and Collaboration Using Building Information Modelling », dans *Engineering Project Organization Journal*, n° 1-2, p. 83-93 [en ligne, DOI : 10.1080/21573727.2011.569929].
37. Lev Manovich, *The Language of New Media*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 2001.
38. Carpo, 2011, cité n. 5.
39. Robert David Steele, *The Open-Source Everything Manifesto: Transparency, Truth, and Trust*, Berkeley, Cal., Evolver / North Atlantic Books, 2012.
40. Clay Shirky, *Here Comes Everybody: The Power of Organizing without Organizations*, New York, Penguin Press, 2008.

41. Theodora Vardouli et Leah Buechley, « Open Source Architecture: An Exploration of Source Code and Access in Architectural Design », dans *Leonardo*, août 2012, p. 1-10 [en ligne, DOI : https://doi.org/10.1162/LEON_a_00470].
42. Walter Gropius, « Computers for Architectural Design », communication présentée au colloque « Architecture and the Computer », Boston, Boston Architectural Center, 1964 (New York, Columbia University, Serge Chermayeff Archive, Avery Archive).
43. Joseph Carl Robnett Licklider, « Man-Computer Symbiosis », dans *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-1, mars 1960, p. 4-11.
44. Douglas Engelbart, « Augmenting Human Intellect », SRI Summary Report AFOSR-3223, 1962.
45. Nicholas Negroponte, *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 1970.
46. Yona Friedman, « Information Processes for Participatory Design », dans Nigel Cross (dir.), *Design Participation: Proceedings of the Design Research Society's Conference*, actes de colloque (Manchester, 1971), Londres, Academy Editions, 1972, p. 45-50.
47. Nicholas Negroponte, *Soft Architecture Machines*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 1975.
48. *Ibidem*.
49. Herbert Simon, *The Sciences of the Artificial* (1968), Cambridge, Mass., The MIT Press, 1996.
50. Norbert Wiener, *The Human Use of Human Beings: Cybernetics & Society*, Boston, Houghton Mifflin Co., 1950. Voir également la lettre de Wiener à Walter Reuther, président de United Auto Workers, datée d'août 1949, disponible en ligne à l'adresse suivante : <https://libcom.org/history/father-cybernetics-norbert-wieners-letter-uaw-president-walter-reuther>.
51. Sur ce sujet, comme sur d'autres en rapport avec le site de construction, je renverrai, pour une analyse plus approfondie, à l'ouvrage de Pedro Fiori Arantes, *The Rent of Form: Architecture and Labor in the Digital Age*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 2019.
52. Voir Touloumi, Vardouli, 2019, cité n. 32.
53. Michael S. Mahoney, « What Makes the History of Software Hard », dans *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 30, n° 3, 2008, p. 8-18 [en ligne, DOI : 10.1109/MAHC.2008.55].
54. Vikramaditya Prakash, *Chandigarh's Le Corbusier: the Struggle for Modernity in Postcolonial India*, Seattle, University of Washington Press, 2002.