D'une conception informée par des données à la généralisation des systèmes cyber-physiques

Philippe Marin

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/craup/1043>

DOI : 10.4000/craup.1043

ISSN : 2606-7498

Éditeur

Ministère de la Culture

Référence électronique

Philippe Marin, « D'une conception informée par des données à la généralisation des systèmes cyber-physiques », *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère* [En ligne], 3 | 2018, mis en ligne le 26 décembre 2018, consulté le 29 janvier 2021. URL : <http://journals.openedition.org/craup/1043> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/craup.1043>

Ce document a été généré automatiquement le 29 janvier 2021.

Les Cahiers de la recherche architecturale, urbaine et paysagère sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 3.0 France.

D'une conception informée par des données à la généralisation des systèmes cyber-physiques

Philippe Marin

- 1 Notre époque est marquée par l'utilisation des technologies numériques et nos modes de compréhension du monde sont modifiés. Ces nouveaux modes opératoires bouleversent les champs de la conception, de la création et de la fabrication.
- 2 En considérant l'application des technologies de l'information à l'architecture, nous proposons de caractériser les évolutions récentes en matière d'architecture numérique en identifiant différentes formes d'hybridation des réalités physiques et numériques. Nous faisons l'hypothèse que la généralisation des techniques numériques s'impose à travers la constitution d'un *continuum* numérique qui dépasse la question des échelles et qui opère des formes de rapprochement entre des réalités physiques et numériques. Nous cherchons à révéler ces formes d'hybridation, dans lesquelles computation, matière, dispositif, espace et pratiques sociales s'articulent. Nous notons le basculement de l'activité de conception vers une forme de métaconception, celle-ci imposant une pensée processuelle. Pour conduire notre exploration, nous retenons deux principales activités, l'une mobilisant une instrumentation de la conception informée par des données, l'autre portant sur la conception et la fabrication d'environnements et de systèmes cyber-physiques.
- 3 Dans un premier temps, nous caractérisons les modes d'instrumentation numérique de la conception qui mobilisent des données pour incorporer une information et une connaissance au sein de modèles géométriques. Nous définissons les approches paramétriques et génératives qui conduisent à intégrer des attributs ou des contraintes de la matérialité à des processus de fabrication. Dans un second temps, nous revenons sur le cadre urbain qui se trouve instrumenté et qui autorise des pratiques sociales elles-mêmes génératrices de mégadonnées. Dans une dernière partie, nous identifions les dispositifs qui intègrent de manière consubstantielle l'information et nous précisons quelques-uns des attributs de ces systèmes cyber-physiques.

Une conception informée par des données

La modélisation paramétrique

Le modèle associatif

- 4 Le processus de conception paramétrique s'intéresse à la définition d'un ensemble de paramètres qui influence la forme. La forme finale n'est pas au centre de la recherche, elle est induite. La modification de la valeur des paramètres engendre non pas un objet mais un ensemble de variations. Le processus n'est pas simplement fondé sur des valeurs métriques, mais plutôt sur l'ensemble des relations entre les éléments qui composent la forme. Cette possibilité d'inscrire le modèle géométrique dans une série de variations repose sur le concept numérique d'associativité. La liste des paramètres mobilisables reste ouverte aux intentions des concepteurs. Nous pouvons cependant en identifier quelques familles : paramètres mathématiques (calcul et nombre), paramètres géométriques (point, ligne, surface...), paramètres topologiques (relation et continuité), paramètres de la matière (comportement physique, dimensions, ductilité...), paramètres de fabrication (taille des machines, poids, vitesse...), paramètres environnementaux (irradiation solaire, niveau sonore, niveau de pollution...), ou paramètres humains et sociétaux (usage, perception...). Ces logiques morphogénétiques intègrent les caractéristiques des matériaux, les modalités de mise en œuvre, des aspects culturels. Les relations entre forme, structure, matériau et usage sont informées et interagissent au sein du système.
- 5 Dans son chapitre intitulé « Parametrics », Roberto Bottazzi¹ repositionne la notion de paramétrique dans une histoire de l'architecture et des techniques. Patrik Schumacher promeut cette approche en tant que style². La modélisation paramétrique se décline à différentes échelles et porte à la fois sur l'édifice, la ville ou le territoire, elle s'intéresse aussi bien aux phases de programmation qu'aux phases de construction. L'application des approches paramétriques aux échelles urbaines a été depuis plusieurs années explorée. Nous citons les travaux de Patrick Schumacher qui, à travers les études de l'Agence Zaha Hadid Architectes, met en application ces méthodes et ces outils pour la conception urbaine³ et développe le concept d'urbanisme paramétrique. Mickael Weinstock⁴ s'appuie sur le concept d'émergence pour mettre en évidence la notion de métabolisme urbain. L'auteur propose d'intégrer de manière complémentaire une analyse morphologique de la ville avec une analyse de ses réseaux. Neuf paramètres sont identifiés pour caractériser les morphologies urbaines : les mesures de sa rugosité, de sa porosité, de sa sinuosité, de sa compacité, de sa contiguïté, de son occlusivité, des apports solaires, du degré de minéralisation, de sa densité⁵. Les réseaux sont analysés à travers une mesure des relations, des connections, des flux de matière, d'énergie et de marchandise.

Performances et simulations

- 6 Les modélisations paramétriques s'adossent à des simulations variées : volumétriques, structurelles, environnementales, thermiques, lumineuses, économiques ou encore sensibles. L'objet est évalué sous l'angle de sa performance. Le modèle est également utilisé pour extraire de manière interactive et continue des informations et des

descriptions du projet. Ces descriptions prennent la forme de représentations géométriques (modèles 3D ou dessins 2D), de représentations quantifiées (surfaces, quantités ou longueurs, nomenclature...), ou de diverses représentations des performances (études d'irradiation, d'ombrages, des fluides...). Cette instrumentation de la conception s'inscrit dans une perspective de conception prédictive cherchant à valider ou accompagner des décisions principalement sous l'angle d'une performance technique. Des mécanismes d'optimisation viennent compléter ces approches.

- 7 L'usage de ces outils et de ces techniques participe à une conception en prise avec des questions de développement durable. Les économies de matière ou d'énergie deviennent les éléments qui déterminent les principes morphologiques ou constructifs. Les facilités d'instrumentation offertes par les récents outils numériques de conception contribuent à intégrer ces contraintes techniques dès les phases initiales de conception. Ainsi ces questions performanciennes peuvent devenir des vecteurs de conception créative et susciter, ou alimenter, l'exploration d'un espace de solutions dans une démarche inventive et ouverte. Cette analyse de la performance n'est plus seulement évaluative mais devient générative de solutions ou de questionnements nouveaux.

Partage d'informations et innovation collaborative

- 8 Il nous faut par ailleurs noter le renouvellement des démarches créatives, qui dans le contexte de la société de la connaissance et des technologies numériques, s'adossent à des principes de partage d'informations, de mixage, de réutilisation ou d'appropriation d'extraits d'œuvre ou de code. Les mouvements *open source* initialement associés à la production des logiciels s'étendent à différents champs de la création, allant de la musique à la mise à disposition de cartes électroniques, de plans et protocoles d'autofabrication de machines ou d'autoconstruction de maisons. Sans aller dans une analyse plus aboutie de l'histoire récente, nous dirons que ces pratiques prennent forme dans la première partie du XX^e siècle avec les mouvements de la contre-culture, notamment aux États-Unis. Ces activistes, porteurs d'un esprit libertaire, trouveront dans les techniques de communication émergentes et avec la cybernétique des moyens d'accomplir leurs ambitions⁶. Dans les années 70, Enzo Mari publiait son fascicule *Autoprogettazione* ? qui permet à tout un chacun de réaliser un ensemble de mobiliers. L'auteur renouvelle la question du design en assurant sa démocratisation, en facilitant l'autonomie de l'usager, en instaurant une nouvelle relation entre le concepteur, l'usager et des circuits économiques et industriels remis en cause. Plus récemment, le projet *Wikihouse*⁷ propose la diffusion d'un principe constructif ouvert et partageable. Ce dernier mobilise les outils numériques dans la conception et la fabrication d'un habitat individuel ou d'un petit collectif. Enfin, la popularité des récents environnements informatiques de conception numérique s'appuie sur des communautés d'utilisateurs importantes, et le partage du code, des bibliothèques ou de différentes extensions, accompagne désormais les pratiques quotidiennes des concepteurs. Les cultures numériques portent en elles ces principes d'échange d'informations. La connaissance se trouve littéralement encodée ou encapsulée au sein de scripts, d'algorithmes ou de modèles paramétriques, facilement téléchargeables et appropriables. Carlo Ratti⁸ retrace ces pratiques ouvertes et participatives en relation avec le développement des techniques numériques.

- 9 Par ailleurs, ces dynamiques collaboratives se répandent au sein du monde économique et industriel. Depuis quelques années, les modalités de recherche et développement s'articulent avec des questions d'innovation. Les processus mis en place s'appuient sur des dynamiques collaboratives et conjointes au sein de consortiums rassemblant scientifiques, industriels et institutionnels. Le partage de connaissances, l'échange d'informations et la mutualisation de compétences transdisciplinaires constituent des ingrédients privilégiés pour de nombreux programmes de recherche.
- 10 De plus, les récents développements associés à l'usage des maquettes numériques (*Building Information Modelling*) participent à la redéfinition des méthodes de travail collaboratif entre les acteurs de la construction. Cette perspective opérationnelle sort du cadre de notre analyse, bien que ses implications questionnent les modalités d'échange d'informations, de structuration des données du projet, aussi bien en construction que durant son exploitation, et interrogent les responsabilités et les jeux d'acteurs, ancrent le projet d'architecture dans un processus.

La modélisation générative

Émergence et auto-organisation

- 11 Les approches génératives se réfèrent aux activités qui mobilisent une grammaire de forme, un programme informatique, une machine ou d'autres mécanismes procéduraux, dans lesquels ceux-ci présentent un degré d'autonomie dans l'élaboration de la forme finale. Ces mécanismes génératifs fondent leurs développements sur les travaux menés en intelligence artificielle. Les algorithmes utilisés se constituent avec les principes d'émergence et d'auto-organisation des propriétés d'un système, et renvoient aux sciences de la complexité. Cette approche se caractérise par sa dimension non linéaire. Les situations atteintes sont initialement imprévisibles.
- 12 Il existe plusieurs algorithmes qui peuvent être convoqués à des fins génératives. Parmi les plus répandus, nous pouvons citer les L-system, et de manière générale l'ensemble des systèmes à fonction itérative (IFS). Les grammaires de formes, les automates cellulaires, les agents et réseaux de neurones ainsi que les algorithmes évolutionnaires et génétiques, complètent cette famille. L'accès à ces algorithmes d'optimisation, basés sur des approches déterministes ou stochastiques, est facilité par la mise à disposition de ressources et bibliothèques pour les environnements de conception de type Grasshopper™.
- 13 L'usage de ces algorithmes peut être mis au service d'une conception plus respectueuse de l'environnement, en intégrant des contraintes énergétiques et des approches écoresponsables⁹.

Logique processuelle et métaconception

- 14 Dans ce contexte, le projet n'est plus formel mais devient processuel. La particularité de ces dispositifs repose sur le fait que le concepteur ne manipule pas l'objet en cours de conception, mais le système génératif. Le rôle du concepteur bascule vers celui d'un métaconcepteur. Avec l'avènement des technologies numériques dans le champ de la conception, le rôle du designer s'est transformé. Du concepteur-créditeur d'une œuvre, d'une solution unique, on assiste aujourd'hui à l'émergence d'un métaconcepteur-créditeur d'un ensemble élargi de solutions répondant aux contraintes du problème. Le

concepteur ne travaille plus à l'élaboration d'un objet exclusif, mais plutôt à la conception d'une famille de formes, dont la solution retenue représentera un état significatif au sein de cette collection de potentialités. Le concepteur ne dessine plus un objet mais un système d'objets possibles, une machine à explorer les virtualités. L'architecte s'intéresse alors à la mise en œuvre d'un système technique, qui alimente et éclaire une démarche de projet.

- 15 La notion d'invariant par variation, proposée par Deleuze¹⁰, illustre cette re-conceptualisation de la forme associée à une transformation des modes de fabrication. Cette logique de production déplace la définition de la forme vers celle du processus. La virtualisation de la forme architecturale et sa déformation incrémentale deviennent le concept sous-jacent d'un bâtiment, dans lequel le flux numérique et les surfaces manipulées virtuellement se traduisent en une forme construite. Cette architecture s'inscrit dans une approche non standard¹¹ et les récents développements des techniques de fabrication numérique facilitent la matérialisation et la construction de ces formes parfois complexes. Elles permettent d'intégrer les singularités d'un matériau et ouvrent la voie à une possible adaptation continue et en temps réel de la fabrication robotisée. Ces modes de production font références aux techniques de personnalisation de masse.

Continuum conception-fabrication et fabrication générative

Technologies de fabrication avancée

- 16 Le *continuum* conception-fabrication est largement associé aux modalités d'instrumentation du processus de conception, celui-ci inscrivant une trajectoire continue des phases de recherche conceptuelle au prototypage, en passant par la matérialisation de maquettes, jusqu'à la réalisation du dispositif final. Les techniques de fabrication numérique peuvent être regroupées en trois grandes familles, en distinguant les méthodes soustractives, additives et de mise en forme. L'utilisation de dispositifs robotisés complète cette taxinomie. Ainsi les machines à découpe laser, les machines à usinage numérique, les bras robotisés et les imprimantes 3D deviennent des outils de prototypage, de fabrication et de production, accessibles aux concepteurs. Ces modalités imposent des stratégies de conception et agrègent des vocabulaires formels, des typologies morphologiques propres à l'âge numérique. Des logiques d'empilement, de tessellation, de maillage, d'armature, de membrane, de texture de surface, de composants singuliers, de mise en forme et de solutions d'assemblage, composent les socles de ces résolutions constructives¹².
- 17 La fabrication numérique impose ses propres stratégies de production à travers l'exploitation des fonctionnalités, des possibilités, mais aussi des contraintes des machines et des matériaux. La logique de fabrication est alors intégrée aux stratégies de conception, en cherchant une innovation à travers la création de nouveaux processus, exploitant les qualités de ces machines, de ces outils de modélisation et du *continuum* conception-fabrication. L'interopérabilité des environnements numériques est améliorée et le renouvellement des outils laissent présager des modalités d'échange d'informations de plus en plus fluides et directes. L'information se trouve structurée dans des formats ouverts et plus facilement manipulables grâce aux récentes solutions d'interfaçage et de programmation visuelle. La prise de conscience de cette structuration des données devient une compétence primordiale pour les futurs

concepteurs. Ce *continuum* informationnel permet d'envisager la conception et la fabrication de composants architecturaux aux propriétés singulières. Morphologie, densité, transparence, élasticité, procédé de fabrication et de mise en œuvre, représentent désormais autant de paramètres de conception.

Fabrication générative et encodage des processus

- 18 La fabrication générative rend compte des préoccupations de résolution constructive et de matérialisation de géométries paramétriques. La compréhension de l'étroite relation entre conception, génération, fabrication et encodage apparaît être prioritaire aujourd'hui. La fabrication générative dépasse la seule notion d'automatisation pour traiter de deux principaux domaines d'investigation, la conception générative d'une part et la fabrication numérique d'autre part. La conception générative convoque des processus algorithmiques, des boucles itératives, des mécanismes bio-inspirés et non linéaires, elle organise des conditions d'émergence, utilise des mécanismes d'optimisation et d'analyse de la performance. La forme et son processus de fabrication sont encodés, l'information et les données sont utilisées, d'une part pour informer le processus génératif et la définition de l'objet en conception, et d'autre part pour assurer sa construction et sa fabrication à l'aide de machines numériques. Nous reviendrons dans la dernière partie sur l'usage de l'information et des données par les systèmes de production automatisés et robotisés de plus en plus « intelligents ».

La ville, un environnement informé et informant

- 19 Après avoir caractérisé les modalités de conception et de fabrication qui s'appuient sur des principes d'encodage de l'information et qui mobilisent des données tout au long de leurs processus, nous souhaitons considérer notre cadre de vie et nos activités quotidiennes comme générateurs d'un flux d'informations.

La ville intelligente

- 20 La notion de « ville intelligente » trouve ses origines dans les années 1980 avec le concept de « ville câblée », *wired city*¹³, mais c'est avec le développement et la généralisation de l'informatique ubiquitaire que l'expression « ville intelligente » s'impose. Celle-ci correspond à la traduction de l'expression anglaise *smart city*, qualificatif qui ne doit pas prévaloir de la qualité *a priori* de cette ville mais qui renvoie plutôt aux capacités de collecte, de traitement et d'échange d'informations. Ainsi la « ville intelligente » se conçoit dans cette possible interaction continue entre des réalités physiques et numériques, construites autour de maillages de capteurs et d'actionneurs. Nous retenons quatre attributs pour la caractériser : 1) l'émergence de nouveaux usages et pratiques, 2) une instrumentation multiscalaire, 3) une supervision urbaine et 4) le développement d'une intelligence collective.

Des pratiques et des usages émergents

- 21 Les nouvelles technologies ont une influence limitée sur la forme physique des villes, mais contribuent par contre à une transformation des expériences individuelles et sociales des citoyens¹⁴. De plus en plus, la ville et nos activités quotidiennes mêlent des

pratiques physiques et numériques. Depuis quelques années, ces activités se caractérisent par un degré de mobilité important, et le développement de l'informatique ubiquitaire renvoie à ces pratiques qui mobilisent, parfois inconsciemment, plusieurs dispositifs ou systèmes informatiques simultanément. Ce traitement en réseau des informations et leurs consultations via des interfaces homme-machine, souvent mobiles, participent à la constitution de communautés et contribuent à la sociabilité des individus. Le territoire se trouve recouvert d'une couche d'informations accessible à l'aide de dispositifs informationnels, cette strate constitue un espace de signification interactif.

- 22 Pour certains auteurs, ces pratiques caractérisent une « ville-événement¹⁵ » dans laquelle les situations deviennent les jalons organisateurs d'une politique urbaine. Les enregistrements d'une somme d'occurrences, comme une température, un niveau de pollution ou la fluidité du trafic, s'agrègent pour rendre compte de l'état d'un métabolisme qui constitue l'image et le récit de la ville. Occurrences, événements, situations, et circonstances deviennent les ingrédients de l'écriture de scénarii qui tendent à remplacer des logiques de planification.

Une instrumentation multiscalaire

- 23 Ce territoire « sur-imprimé » s'adosse à des logiques computationnelles dans lesquelles l'instrumentation de notre environnement se décline à plusieurs échelles. Nous notons le développement d'infrastructures communicantes qui équipent les réseaux urbains ou contribuent par exemple au développement de solutions de transport par véhicules électriques et hybrides. Le cadre bâti, la ville et le territoire, participent ainsi d'une réalité physique hybridée avec un champ informationnel, et deviennent les entités d'un réseau nourrissant un flux de données. L'espace urbain est recouvert d'un espace informationnel, ils s'enrichissent mutuellement, se dédoublent et se confondent dans une forme hybride.
- 24 Les interactions, qui prennent dans une direction la forme d'une mesure ou de l'enregistrement d'une trace, et dans l'autre direction celle d'une information à destination d'un usager, sont locales, réalisées à l'échelle de l'individu ou du capteur. Cependant, la consolidation, l'agrégation, voire les corrélations entre ces ensembles d'informations offrent des lectures à des échelles plus larges. Les phénomènes se comprennent ou s'interprètent à l'échelle du quartier, de la ville ou du territoire. Ainsi, le projet d'aménagement urbain peut s'appuyer sur une granulométrie de données très fines, et inversement l'impact d'un édifice peut être considéré à une échelle plus large. Cette dimension multiscalaire des niveaux de lecture et de compréhension n'est pas nouvelle dans son principe ; les géographes ont développé depuis plusieurs années des raisonnements permettant des découpages et la constitution d'ensembles spatiaux en fonction des aspects de la réalité qui les préoccupent. L'ordonnancement des échelles et des ordres de grandeur leur permet d'organiser des niveaux de lecture, en passant d'un niveau supérieur à un niveau inférieur, de manière gigogne, et en identifiant des interrelations et des interdépendances¹⁶. L'usage des techniques numériques brouille ces limites en accélérant le parcours des échelles, il donne de l'importance à un espace topologique, fait de connexions et de relations, plus qu'à un espace topographique fait de distances. Une complexité émerge de ces interactions et de la multiplication des représentations des réalités.

Une supervision optimisée

- 25 Les infrastructures, les édifices ou les mobiliers urbains, aussi bien que les humains, deviennent autant de capteurs contextuels, entités d'un maillage informationnel au service de la compréhension et du *monitoring* urbain. Ce maillage du territoire autorise une supervision urbaine qui s'inscrit dans des dynamiques d'optimisation des transports, de contrôle des niveaux de pollution ou de mesure des activités. Ici, les modalités de représentation de l'information et la conception d'interfaces homme-machine, facilitant la compréhension et l'interaction avec les données, sont centrales. Ces modes de visualisation et de représentation dynamique de l'information, constituent aujourd'hui des thèmes de recherche à part entière. Les activités du Senseable City Lab¹⁷ en donnent quelques exemples. La plateforme Flowing City¹⁸ propose un inventaire des projets qui traitent de la visualisation de données urbaines et illustre la profusion des propositions.
- 26 Par ailleurs, nous notons les risques et limites d'une vision néo-cybernétique de la ville. Antoine Picon¹⁹ rappelle dans son ouvrage les précédentes expérimentations en matière de réalisation de dispositifs et d'infrastructures de contrôle et pilotage des activités urbaines. De Rio de Janeiro à Los Angeles, en passant par Nice ou Songdo, nombreux sont les projets d'installation de « salles de contrôle » des activités urbaines, sensées mesurer, surveiller, prévenir et corriger en temps réel des phénomènes et des incidents. L'auteur nous met en garde contre les risques de réduction de la ville à une série limitée de paramètres ou d'algorithmes simplificateurs. Ces dispositifs, efficaces pour assurer des opérations de maintenance ou de coordination de moyens, ne doivent pas empêcher d'autres développements. Il apparaît alors nécessaire de trouver les modalités d'intégration et d'interaction avec des acteurs humains, capables de former un couplage pertinent et d'assurer le bon fonctionnement d'une écologie, formée à la fois d'agents artificiels, d'acteurs humains, de composantes naturelles et de phénomènes physiques.

Une intelligence collective

- 27 Cette mise en communication des éléments urbains et des objets quotidiens trouve également une application dans le développement d'une économie de partage et de réseaux favorisant une intelligence collective²⁰. Les pratiques urbaines interconnectées permettent une mise en réseaux des activités citoyennes, les usages de la ville sont renouvelés. Les démarches coopératives cherchent à la fois une implication et un aiguillage du comportement des usagers. L'implication correspond à la capacité d'appropriation technologique par les citoyens, dans une dynamique de conception ouverte et partagée, dans laquelle les usagers sont conscients et acteurs de l'environnement technologique qui les entoure, situation que Nicolas Douay qualifie « d'urbanisme communicationnel²¹ ». L'aiguillage des comportements s'adosse à une prise de conscience des effets des agissements individuels. Dans une logique de grands nombres, des pratiques écoresponsables conduisent à des économies d'énergie et à la constitution d'une ville plus durable.
- 28 Ces pratiques prennent place dans un contexte législatif d'ouverture des données publiques, encadrée par la loi sur la République numérique, promulguée en octobre 2016, et appliquée aux collectivités de plus de 3 500 habitants. Avec comme objectifs l'amélioration de l'efficacité de l'action publique ou la mise à disposition de nouvelles

ressources pour l'innovation économique et sociale, cette mise à disposition des données implique également une capacité d'appropriation et d'utilisation vertueuse par les acteurs civils et économiques. Nous notons, dans cette perspective, l'apparition de nouvelles formes de gouvernance ou de participation citoyenne, pouvant conduire à l'amélioration des politiques publiques et au renforcement de leur intégrité. Cette pratique est qualifiée par l'auteur précédent « d'urbanisme participatif ».

La production de méga-données²²

Une production massive

- 29 Cette « ville intelligente », associée aux pratiques émergentes, contribue à la constitution d'une masse d'informations très importante. L'informatique ambiante, la généralisation des objets communicants qui peuplent l'environnement urbain, la production d'un flux continu d'informations, la multiplication des traces, des « tags » ou d'autres signes numériques qui marquent le territoire, conduisent à la production massive d'information. Ces données sont produites automatiquement, dans un flux continu et à l'aide de capteurs variés. La tendance à la miniaturisation ainsi que l'augmentation des capacités de calcul ont généralisé l'équipement informatique et électronique des objets quotidiens. Les capacités de collecte et traitement de l'information ont augmenté de manière considérable ces dernières années.
- 30 L'expression « mégadonnées » renvoie à l'ensemble de ces données qui ne peuvent pas être traitées et analysées par des moyens traditionnels. Cette incapacité s'explique par l'importance du volume (mesuré en téraoctets, pétaoctet ou exaoctet), la vitesse des données (collecte en temps-réel), la variabilité des débits, et la variété des sources et des formats.

Traitement et exploitation des méga-données

- 31 L'analyse et le traitement de ces informations autorisent des activités prédictives dans des domaines variés, qui vont de la consommation énergétique, à l'optimisation du trafic, en passant par la prédiction des flux ou des activités humaines. L'analyse des mégadonnées et leur utilisation comme support de décision représente un champ d'investigation émergent, qui passe par la mise en œuvre d'outils innovants et puissants d'analyse, de traitement et de représentation de l'information, pour contribuer à la compréhension des activités, des tendances, pour donner du sens à cette masse d'informations hétérogènes²³.
- 32 Dans le champ de l'architecture, ces informations contribuent à la compréhension du métabolisme urbain²⁴. Celle-ci porte sur des questions de mobilité, de flux, de consommation énergétique ou d'activité humaine, et elle s'interprète en temps réel. Ainsi pour l'auteur, les technologies numériques et leurs applications aux activités de planification urbaine renouvellent les approches urbanistiques, en considérant le fonctionnement de la ville dans un temps court et à une échelle parfois très localisée. À l'inverse la conception d'un édifice peut s'ancrer dans un contexte élargi, dans un territoire plus vaste, l'édifice et ses usages associés prenant place dans une réalité physique et numérique mesurable et représentable.

La généralisation des systèmes cyber-physiques

- 33 Après avoir considéré les processus de conception et de fabrication, puis les modes de production des données, nous souhaiterions dans cette dernière partie identifier et caractériser les applications, objets ou dispositifs, qui portent et concentrent l'information comme élément consubstantiel. Nous considérons quatre thématiques : 1) les systèmes de production et de fabrication, 2) les matériaux fonctionnalisés, 3) l'échelle des objets, puis 4) celle de l'architecture.

Production robotisée et système autonome

- 34 La robotique concentre en ce début de XXI^e siècle des enjeux scientifiques, industriels et sociétaux. La transformation du monde moderne depuis le XVIII^e siècle s'est caractérisée par la première révolution industrielle, qui reposait principalement sur la mécanisation des méthodes de production, puis par la deuxième révolution industrielle, rendue possible par l'introduction de nouvelles sources d'énergie, la division du travail et la production de masse. La troisième révolution s'opère à la moitié du XX^e siècle avec l'introduction des systèmes numériques, électroniques et des automates de production. Nous considérons désormais que nous entrons dans une quatrième période, caractérisée par l'interconnexion des machines, l'intégration de capteurs et senseurs enrichissant les fonctionnalités des robots et permettant des logiques de personnalisation de masse. L'expression « industrie 4.0 » désigne ce nouveau système de production intégrant les techniques associées à la réalité augmentée, à la réalité virtuelle, aux mégadonnées, à l'internet des objets, ou encore aux nouvelles méthodes de fabrication additive et robotique.
- 35 Cette robotique industrielle doit relever plusieurs défis majeurs²⁵. Le passage de tâches répétitives à un niveau d'opérations plus complexes nécessite des fonctionnalités de coordination et d'interaction avec le monde physique, qui impliquent l'usage de capteurs sensibles et d'algorithmes de pilotage capables d'agir en temps réels. La flexibilité, l'adaptabilité et la reprogrammabilité de ce système technique sont par ailleurs centraux. Les travaux facilitant la réorganisation des environnements de travail et de reprogrammation des machines sont actuellement importants. Ceux-ci devront faciliter une production « sur mesure ». Un troisième enjeu porte sur les interactions avec l'homme. Les méthodes de coopération avec la machine doivent garantir la sécurité des agents, la machine doit alors avoir une connaissance de son environnement et doit être capable d'interpréter les intentions des opérateurs. De nouvelles interfaces naturelles entre l'homme et la machine sont à concevoir. Un quatrième défi envisage la participation des machines dans des environnements non structurés. La robotique de chantier en est un exemple. Ici la machine doit faire face à des imprévus, elle a une connaissance partielle de son environnement, et cela implique que les stratégies d'action du robot ne peuvent pas être entièrement programmées.
- 36 L'ensemble de ces questionnements est exploré dans le champ de l'architecture, notamment au travers des activités de l'Institut for Computational Design (ICD) de l'Université de Stuttgart²⁶ ou du laboratoire de fabrication robotique du Pôle de recherche national (PRN) suisse intitulé Fabrication numérique, et par l'Institute of Technology in Architecture (ITA) de l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETHZ), ou encore au sein du laboratoire Material Processes and Systems Group de l'université d'Harvard. Ces travaux explorent l'usage de systèmes robotisés autonomes qui

s'adaptent de manière interactive aux conditions de production. Ils intègrent des réalités physiques de manière interactive ou des fonctionnalités de coopération avec des acteurs humains. Ils proposent de nouveaux systèmes constructifs et ils ouvrent la voie à de nouvelles spatialités. Ce sont des réalisations qui mobilisent les technologies numériques de manière à susciter et accompagner une conception créative, à travers une exploration originale, dépassant une simple automatisation de tâches prédéterminées. La mise en œuvre de matériaux composites, avec par exemple le tissage de fils de carbone combinant plusieurs systèmes robotisés et passant par des phases de modélisation et de simulation avancées, laisse présager de nouvelles tectoniques. Les techniques de fabrication additive par dépôt de matière permettent d'envisager des économies de matériaux en éliminant les chutes et les déchets. L'utilisation renouvelée d'un matériau traditionnel, comme la brique, le bois ou la terre, est rendue possible par l'intégration d'un savoir-faire au sein d'un système technique nouveau et mobilisant diverses machines robotisées.

Matériaux instrumentés

- 37 Dans le contexte des technologies numériques, l'utilisation et le développement des matériaux instrumentés représentent une autre caractéristique des transformations à l'œuvre pour les activités de conception et de création. Cette approche inscrit ses racines dans une science des matériaux, dépassant la seule généralisation de la matière pour interroger et valoriser les spécificités d'un assemblage de briques élémentaires conçues sur mesure. L'expression « matériau intelligent » désigne alors une nouvelle génération de produits susceptibles d'accomplir diverses fonctions jusqu'ici réservées au vivant²⁷. De contrainte, la matière est devenue paramètre de conception, elle est un attribut modulable, adaptable. Elle n'appartient plus seulement au champ du réel, mais aussi au champ extensible des possibles, elle incarne des potentialités et se conçoit comme une configuration singulière de variables. Les degrés d'intelligence peuvent correspondre à des fonctions de captation, action ou traitement, impliquer des fonctions de mémoire et remplir des conditions d'auto-organisation ou d'autoréparation, ou intégrer des modalités d'apprentissage. L'intelligence peut être apportée de l'extérieur par l'électronique, elle est alors ajoutée à une structure matérielle qui fonctionne comme un support, ou peut s'opérer à travers la mise au point de nanomatériaux aux fonctions spécifiques.
- 38 D'autres approches tentent d'exploiter les propriétés inhérentes aux matériaux, les spécificités de l'organisation structurelle interne de la matière, ses irrégularités et ses défauts. La forme architecturale, en tant que système dynamique, se constitue en intégrant l'adaptabilité du matériau aux conditions environnementales²⁸.
- 39 Dans ce contexte, le concept d'information prend un sens nouveau et ses relations et interactions avec la matière sont explorées. Les matériaux intelligents représentent un champ d'investigation à la frontière entre les sciences de l'information et les sciences des matériaux.

Objets cyber-physiques

- 40 En prolongement de ces activités d'hybridation des fonctions matérielles et informationnelles, le développement de l'« Internet des Objets » (IoT) accentue la mise

au point de dispositifs cyber-physiques. La multiplication des objets communicants et leurs interconnexions ont porté à la fin du XX^e siècle les concepts « d'intelligence ambiante » et « d'informatique ubiquitaire ». Les « objets communicants multisensoriels » enrichissent ces notions avec une dimension expérientielle en offrant des possibilités d'interaction. Les interfaces sensibles requièrent les sens, elles sont dotées de modalités interactives et sollicitent l'utilisateur dans une dynamique relationnelle. Ces objets intègrent les notions de situation, de service, d'information et de relation. Les objets inertes ont laissé la place à des systèmes, des dispositifs, des objets relationnels, des objets interfaces, des objets d'information et de communication. Les matériaux, les surfaces, les objets ou les composants architecturaux sont désormais capables d'interagir avec les conditions extérieures ou avec les activités humaines.

Architecture adaptative et interactive

- 41 Avec l'hybridation des réalités numériques et physiques, l'architecture devient le support des interactions, elle prend la forme d'une interface offrant de multiples médiations, interactions et informations. L'architecture interactive, les tentatives de représentation du flux informationnel, les dispositifs d'interaction avec l'environnement et les conditions climatiques, sont autant de réponses architecturales aux enjeux d'une conception et d'une édification de l'espace bâti jouant le rôle d'interface entre les réalités physiques et numériques. L'édifice n'occupe plus seulement un site physique, il est également relié à un réseau numérique et informationnel que l'architecte doit prendre en compte.
- 42 Si l'interaction entre le bâtiment et son environnement représente un fondement de la conception architecturale, celle-ci est envisagée sous un jour nouveau avec l'usage des technologies numériques. Mickael Fox²⁹ propose un inventaire des précédents en matière d'environnement interactif en rappelant les travaux d'architectes comme Gordon Pask, Nicholas Negroponte, Charles Eastman, Cedric Price, John Fraser. Plus récemment les expérimentations conduites à l'Université technologique de Delft, par le laboratoire Hyperbody, portent quant à elles sur la reconfiguration de l'espace et l'intégration de composants intelligents à l'enveloppe architecturale³⁰.
- 43 L'intégration de matériaux actifs et réactifs au sein de composants architecturaux ouvre la voie à la conception de nouvelles formes d'interfaces ; des interfaces matérielles qui reconfigurent les interactions entre l'édifice, son environnement et les usagers³¹. Les comportements, les conditions, les interactions entre humains et non-humains produisent une information et une connaissance qui se constituent en flux de données. Le dispositif physique acquiert une capacité d'auto-adaptation aux conditions environnementales et aux activités sociales. Ces interactions prennent place dans un écosystème, elles sont pensées dans une logique systémique, suivant des principes écologiques, suivant des relations réciproques entre l'humain et son environnement physique et social, naturel et technique. Cette architecture adaptative s'intéresse aux interactions entre matière, environnement, contrôle logique, information et activité humaine, elle ouvre la voie à de nouvelles formes d'architecture, non plus pensées comme un objet mais plutôt comme un système, un système en interaction avec son environnement étendu.

Conclusion

- 44 Nous avons identifié différentes formes d'intégration des réalités physiques et numériques, en caractérisant les pratiques de conception qui mobilisent des données, puis en identifiant les pratiques sociales qui contribuent à la production des mégadonnées, et finalement en relevant les formes d'applications hybrides qui naissent et se généralisent.
- 45 Ce processus de cybernétisation qui débute au milieu du XX^e siècle et l'évolution rapide des technologies numériques aboutissent à une technicisation des environnements sociaux, cognitifs et physiques. Une « écologie générale », qui permet de reconsidérer le rapport entre nature et technique, ainsi que les couplages entre agents humains et non-humains, émergent de l'hybridation des réalités physiques et numériques. Notre compréhension du monde s'adosse à une perception phénoménotechnique et une relation espace-temps-information se renforce.
- 46 Dans ce contexte, l'activité de conception se caractérise, selon nous, par une pensée systémique, une activité de métaconception, qui donne naissance à des systèmes et des dispositifs cyber-physiques, intégrant la notion d'information de façon consubstantielle. Les données et leurs encodages constituent des flux informationnels inscrits dans des continuums numériques.
- 47 Les systèmes techniques décrits précédemment portent en eux des questionnements sociétaux et éthiques importants. Ils s'appuient sur des compétences expertes qui tendent à déplacer les limites disciplinaires et mobilisent des savoirs qui peuvent paraître éloignés du champ de l'architecture. Ils invitent les concepteurs du cadre bâti à s'approprier les questions numériques pour inventer des usages ou des applications et susciter des formes de détournement. L'acceptation sociale de ces agents numériques de plus en plus « intelligents », devra, selon nous, passer par une prise de conscience des enjeux, des fonctionnements et des potentialités. C'est la prise en compte des questions éthiques, des enjeux socio-organisationnels et une réconciliation entre l'imaginaire et la réalité, qui devra s'opérer pour participer à la définition du futur de la technologie.

BIBLIOGRAPHIE

Michelle Addington, Daniel L. Schodek, *Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions*, Burlington, Architectural Press, 2005.

Luc Adolphe, « A simplified model of urban morphology : Application to an analysis of the environmental performance of cities », *Environment and Planning B : Planning and Design*, 28, 2001, pp. 183-200.

Michael Batty, « Smart Cities, Big Data », *Environment and Planning*, vol. 39, *Planning and Design*, 2012, pp. 191-193.

- Michael Batty, « Big Data, Smart Cities and City Planning », *Dialogues in Human Geography*, vol. 3, Issue 3, 2013, pp. 274-279, [en ligne] <https://doi.org/10.1177/2043820613513390>
- Bernadette Bensaude-Vincent, *Se libérer de la matière ?*, Éditions Quae, 2004.
- Henriette Bier, Terry Knight, « Digitally-Driven Architecture », *Delft School of Design Journal*, vol. 6, *Digitally-Driven Architecture*, 2010, pp. 1-4.
- Roberto Bottazzi, *Digital Architecture Beyond Computers : Fragments of a Cultural History of Computational Design*, Bloomsbury Academic, 2018.
- Mokrane Bouzeghoub, Remy Mosseri, *Les Big Data à découvert*, Paris, CNRS Éditions, 2017.
- Laurence Buzenot, « Démarche du géographe et raisonnement multiscalaire », *La Durancé*, n°78, 2007.
- Maresh Daas, Andrew John Wit, *Towards A Robotic Architecture*, Novato, Goff Books, 2018.
- Martin Decker, « Adapting Matter », in Manuel Kretzer et Ludger Hoverstadt (éds.), *Advancements in Adaptive Architecture*, Basel, Birkhäuser, 2014, pp. 78-81.
- Gilles Deleuze, *Le pli*, Éditions de Minuit, 1988.
- Nicolas Douay, *Planifier à l'heure du numérique*, Paris, Université Paris-Sorbonne, 2016.
- Michael Fox, « Catching up with the Past : A Small Contribution to a Long History of Interactive Environments », *Delft School of Design Journal*, vol. 6, *Digitally-Driven Architecture*, pp. 7-17.
- Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock, *Emergent Technologies and Design : Towards a Biological Paradigm for Architecture*, Routledge, 2010.
- Lisa Iwamoto, *Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques (Architecture Briefs)*, Princeton Architectural Press, 2009.
- T. Klooster, N. Boeing, S. Davis, A. Seeger, *Smart surfaces and their application in architecture and design*, Birkhauser, 2009.
- Caroline Maniaque, *Go West : des architectes au pays de la contre-culture I*, Paris, Parenthèses, 2014.
- Philippe Marin, Jean-Claude Bignon, Shaghayegh Shadkhoo, Jean-Paul Wetzel, *From Nature to Manufacture*, Proceedings from File to Factory, Chania (Grèce), 2009.
- Philippe Marin, Xavier Marsault, Renato Saleri, Gilles Duchanois, Jean-Claude Bignon, *L'éco-conception Générative : une illustration de la pensée complexe*, Paris, Proceedings from SCAN12, 2012.
- Achim Menges, *Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design Architectural Design*, John Wiley & Sons, 2012.
- Achim Menges, « The New Cyber-Physical Making in Architecture: Computational Construction », *Architectural Design*, vol. 85, Issue 5, 2015, pp. 28-33, [DOI] 10.1002/ad.1950
- Frédérique Migayrou, « Préface », in *Architectures non standard*, Éditions du Centre Pompidou, 2003.
- Dietmar Offenhuber, Carlo Ratti, *Decoding the City : Urbanism in the Age of Big Data*, Birkhauser Verlag AG, 2014.
- Kas Oosterhuis, *Towards a New Kind of Building: A Designers Guide for Nonstandard Architecture*, NAI Publishers, 2010.
- Pierre-Yves Oudeyer, « Robotique : les grands défis à venir », *Futuribles*, 339, *L'essor de la robotique*, 2014, pp. 5-22.

Rivka Oxman, « The New Structuralism : Design, Engineering and Architectural Technologies », *AD Architectural Design*, 136, 2010.

Antoine Picon, *Smart Cities : Théorie et critique d'un idéal auto-réalisateur*, Éditions B2, 2013.

Carlo Ratti, Matthew Claudel, *Open source architecture*, Thames & Hudson, 2015.

Jeremy Rifkin, *La troisième révolution industrielle*, Les liens qui libèrent éditions, 2012.

Patrick Schumacher, « Parametricism. A New Global Style for Architecture and Urban Design », *AD Architectural Design*, vol. 79, Issue 4, *Digital Cities*, 2009.

Patrik Schumacher, *The Autopoiesis of Architecture*, vol. 1, *A New Framework for Architecture : A Conceptual Framework for Architecture : 1* (1^e éd.), John Wiley & Sons, 2010.

Patrik Schumacher, *The Autopoiesis of Architecture*, vol. 2, *A New Agenda for Architecture* (1^e éd.), John Wiley & Sons, 2012.

Patrik Schumacher, « Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's Agenda for the 21st Century », *AD Architectural Design*, vol. 86, Issue 2, 2016, p. 136.

Serge Wachter, *La ville interactive : L'architecture et l'urbanisme au risque du numérique et de l'écologie*, L'Harmattan, 2010.

Michael Weinstock, « The Metabolism of the City: The Mathematics of Networks and Urban Surfaces », *AD Architectural Design*, vol. 81, Issue 4 Special issue, *Mathematics of Space*, 2011, pp. 102-107, [en ligne] <https://doi.org/10.1002/ad.1275>

NOTES

1. Roberto Bottazzi, *Digital Architecture Beyond Computers: Fragments of a Cultural History of Computational Design*, Bloomsbury Academic, 2018.

2. Voir Patrik Schumacher, *The Autopoiesis of Architecture*, vol. I, *A New Framework for Architecture : A Conceptual Framework for Architecture : 1* (1^e éd.), John Wiley & Sons, 2010 ; Patrik Schumacher, *The Autopoiesis of Architecture*, vol. 2, *A New Agenda for Architecture* (1^e éd.), John Wiley & Sons, 2012 ; Patrik Schumacher, « Parametricism 2.0 : Rethinking Architecture's Agenda for the 21st Century », *AD Architectural Design*, vol. 86, Issue 2, 2016, p. 136.

3. Schumacher, 2009, op.cit.

4. Michael Weinstock, « The Metabolism of the City : The Mathematics of Networks and Urban Surfaces », *AD Architectural Design*, vol. 81, Issue 4 Special issue, *Mathematics of Space*, 2011, pp. 102-107, [en ligne] <https://doi.org/10.1002/ad.1275>

5. Luc Adolphe, « A simplified model of urban morphology : Application to an analysis of the environmental performance of cities », *Environment and Planning B : Planning and Design*, 28, 2001, pp. 183-200.

6. Nous renvoyons sur ce sujet à l'ouvrage de Caroline Maniaque, *Go West : des architectes au pays de la contre-culture !*, Paris, Parenthèses, 2014.

7. La présentation du projet est consultable [en ligne] <https://wikihouse.cc>, page consultée le 15 septembre 2018.

8. Carlo Ratti, Matthew Claudel, *Open source architecture*, Thames & Hudson, 2015.

9. Voir Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock, *Emergent Technologies and Design : Towards a Biological Paradigm for Architecture*, Routledge, 2010 ; Philippe Marin, Xavier Marsault, Renato Saleri, Gilles Duchanois, Jean-Claude Bignon, *L'éco-*

conception Générative : une illustration de la pensée complexe, Paris, Proceedings from SCAN12, 2012.

10. Gilles Deleuze, *Le pli*, Éditions de Minuit, 1988.

11. Frédérique Migayrou, « Préface », in *Architectures non standard*, Éditions du Centre Pompidou, 2003 ; Lisa Iwamoto, *Digital Fabrications : Architectural and Material Techniques (Architecture Briefs)*. Princeton Architectural Press, 2009 ; Rivka Oxman, « The New Structuralism : Design, Engineering and Architectural Technologies », *AD Architectural Design*, 136, 2010.

12. Voir Ph. Marin *et al.*, 2009, *op.cit.*

13. Michael Batty, « Smart Cities, Big Data », *Environment and Planning*, vol. 39, *Planning and Design*, 2012, pp. 191-193.

14. Serge Wachter, *La ville interactive : L'architecture et l'urbanisme au risque du numérique et de l'écologie*, L'Harmattan, 2010.

15. Antoine Picon, *Smart Cities : Théorie et critique d'un idéal auto-réalisateur*, Éditions B2, 2013.

16. Laurence Buzenot, « Démarche du géographe et raisonnement multiscalaire », *La Durance*, n° 78, 2007.

17. Voir [en ligne] <http://senseable.mit.edu>, page consultée le 15 septembre 2018 ; et Dietmar Offenhuber, Carlo Ratti, *Decoding the City : Urbanism in the Age of Big Data*, Birkhauser Verlag AG, 2014.

18. Voir [en ligne] <http://flowingcity.com>, page consultée le 15 septembre 2018.

19. *Op.cit.*

20. Jeremy Rifkin, *La troisième révolution industrielle*, Les liens qui libèrent éditions, 2012.

21. Nicolas Douay, *Planifier à l'heure du numérique*, Paris, Université Paris-Sorbonne, 2016.

22. L'expression « mégadonnées » est la traduction officielle de « Big Data » ; les expressions « datamasse » ou « données massives » sont également utilisées.

23. Mokrane Bouzeghoub, Remy Mosseri, *Les Big Data à découvert*, Paris, CNRS Éditions, 2017.

24. Michael Batty, « Big Data, Smart Cities and City Planning », *Dialogues in Human Geography*, vol. 3, Issue 3, 2013, pp. 274-279, [en ligne] <https://doi.org/10.1177/2043820613513390>

25. Pierre-Yves Oudeyer, « Robotique : les grands défis à venir », *Futuribles*, 339, *L'essor de la robotique*, 2014, pp. 5-22 ; Mahesh Daas, Andrew John Wit, *Towards A Robotic Architecture*, Novato, Goff Books, 2018.

26. Achim Menges, « The New Cyber-Physical Making in Architecture : Computational Construction », *Architectural Design*, vol. 85, Issue 5, 2015, pp. 28-33, [DOI] 10.1002/ad.1950

27. Bernadette Bensaude-Vincent, *Se libérer de la matière ?*, Éditions Quae, 2004 ; Michelle Addington, Daniel L. Schodek, *Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions*. Burlington, Architectural Press, 2005 ; T. Klooster, N. Boeing, S. Davis, A. Seeger, *Smart surfaces and their application in architecture and design*, Birkhauser, 2009.

28. Achim Menges, *Material Computation : Higher Integration in Morphogenetic Design Architectural Design*, John Wiley & Sons, 2012.

29. Michael Fox, « Catching up with the Past : A Small Contribution to a Long History of Interactive Environments », *Delft School of Design Journal*, vol. 6, *Digitally-Driven Architecture*, pp. 7-17.

30. Kas Oosterhuis, *Towards a New Kind of Building : A Designers Guide for Nonstandard Architecture*, NAI Publishers, 2010 ; Henriette Bier, Terry Knight, « Digitally-Driven Architecture », *Delft School of Design Journal*, vol. 6, *Digitally-Driven Architecture*, 2010, pp. 1-4.

31. Martin Decker, « Adapting Matter », in Manuel Kretzer et Ludger Hoverstadt (éds.), *Advancements in Adaptive Architecture*, Basel, Birkhäuser, 2014, pp. 78-81.

RÉSUMÉS

Notre époque est marquée par l'utilisation des technologies numériques et nos modes de compréhension du monde sont modifiés. Ces nouveaux modes opératoires bouleversent les champs de la conception, de la création et de la fabrication. En considérant l'application des technologies de l'information à l'architecture, nous nous proposons d'identifier les évolutions récentes en matière d'architecture numérique en identifiant différentes formes d'hybridation des réalités physiques et numériques. Nous relevons d'une part le basculement de l'activité de conception vers une métaconception, et d'autre part une reconfiguration des savoirs dans une dynamique transdisciplinaire. Ainsi nous retenons deux principales activités, l'une mobilisant une instrumentation de la conception informée par des données, l'autre portant sur la conception d'environnements et de systèmes cyber-physiques. Nous cherchons à montrer quelles pourraient être les composantes d'une « écologie générale » qui permettrait de reconsidérer le rapport entre nature et technique, revisiter les couplages entre agents humains et non humains et identifier le renforcement d'une relation espace-temps-information.

The increasing usage of digital technology marks our period and transforms the way we perceive the world. New operative modalities upset the design, the creation and the fabrication processes. Considering the digital technology and the architecture field, we try to identify the recent development and specially the hybridisation between digital and physical realities. We note the changeover from a design to a meta-design activity and the transdisciplinary prominent role. We retain two main activities, one involving data during the design process, the other focusing on cyber-physical systems. We search the features of a "general ecology" which redefine the relations between nature and technic, and the linkage between human and non-human agents.

INDEX

Mots-clés : Conception paramétrique, Continuum informationnel, Ville intelligente, Système cyber-physique, Mégadonnée

Keywords : Parametric Design, Digital Continuum, Smart City, Cyber-Physical System, Big Data

AUTEUR

PHILIPPE MARIN

Philippe Marin est docteur en sciences de l'architecture, maître de conférence à l'École nationale supérieure d'architecture de Grenoble. Il est chercheur au sein du laboratoire MHAevt (EA 7445), et chercheur associé au laboratoire MAP-ARIA (UMR CNRS-MCC 3495). Ses thématiques de recherche portent sur l'instrumentation numérique des processus de conception architecturale et plus particulièrement sur le *continuum* numérique associé à la fabrication numérique et à la modélisation paramétrique. Il coordonne actuellement les programmes de recherche-innovation intitulés Printarch, sur les questions d'impression 3D en grandeur, et Open City, sur l'usage et la visualisation des données ouvertes.

Il a récemment publié, avec Yann Blanche, *Modélisation architecturale assistée par des données : données, information, paramètre, connaissance*, Proceedings from 01Design10, Grenade, Espagne, 2016 ; avec Yann Blanche et Rossella Siani, « Matérialité numérique et tectonique paramétrique », *Cahiers thématiques, Matérialités*, n° 15, 2016 ; avec Agnieszka Karolak, « Data et Territoire », *Local Contemporain*, n° 9, *Paysages Singuliers, Paysage Pluriel*, 2017.