



**HAL**  
open science

# Modélisation architecturale assistée par des données : Donnée, information, paramètre et connaissance

Philippe Marin, Yann Blanchi

## ► To cite this version:

Philippe Marin, Yann Blanchi. Modélisation architecturale assistée par des données : Donnée, information, paramètre et connaissance. 01design10 10e colloque multidisciplinaire sur la conception et le design, Nov 2016, Grenada, Espagne. hal-01924324

**HAL Id: hal-01924324**

**<https://hal.science/hal-01924324v1>**

Submitted on 15 Nov 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Auteurs :**

Marin Philippe

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France

Laboratoire Map-Aria UMR CNRS-MCC 3495

Philippe.marin@grenoble.archi.fr

Blanchi Yann

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Val de Seine

Laboratoire EVCAU

yann.blanchi@paris-valdeseine.archi.fr

# Modélisation architecturale assistée par des données

## Donnée, information, paramètre et connaissance

*RÉSUMÉ.* Notre contribution cherche à caractériser les pratiques de modélisation numérique qui convoquent des données pour informer le processus de conception architecturale. Nous situons ces travaux dans le contexte d'ouverture des données et de production massive de « mégadonnées » qui se caractérisent par un flux informationnel continu et parfois produit et traité en temps réel. Après une caractérisation des pratiques dans le contexte de généralisation des technologies numériques, nous nous appuyons sur des expérimentations pédagogiques pour illustrer les possibles usages de ces outils. Nous nous proposons de considérer des modes de paramétrisation du projet d'architecture qui transforme une donnée en information objectivée.

*MOTS-CLÉS :* Conception paramétrique, conception assistée par des données, mégadonnées

*ABSTRACT.* Our paper aims to typify the data based design. We situate this work inside the open and big data context. The real time production and processing of data are representative. We start with the delimitation of digital practices and researches in the field of architecture. And we rely on pedagogical experiments to illustrate the possible uses of these tools and methods. We propose to consider the architectural parametric design that incorporates objectified information inside the process.

*KEYWORDS:* Parametric design, Data based design, big data.

## 1 Introduction

Ce travail cherche à caractériser les pratiques de modélisation numérique qui convoquent des données pour informer le processus de conception architecturale. Nous situons ces travaux dans le contexte d'ouverture des données et de production massive de « mégadonnées ». Ces dernières révèlent un flux informationnel continu parfois produit, traité et analysé en temps réel. Après une caractérisation des modalités d'instrumentation des processus de conception à l'air du numérique, nous reviendrons sur les conditions techniques et sociétales qui conditionnent le « big data ». Finalement nous illustrerons ces pratiques par des expérimentations pédagogiques offrant une exemplification des outils et des méthodes.

Nous souhaitons porter un regard sur le rôle des outils et des techniques dans la construction des savoirs et in fine caractériser les relations entre paramètre, donnée et information. Le paramètre caractériserait le mode de transposition des données d'où émergerait une information transposable en connaissance.

## 2 Une conception informée par les données

### 2.1 Modélisation paramétrique et simulation des performances

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 objets 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 identifier quelques familles : paramètres mathématiques, paramètres géométriques, paramètres to-

pologiques (relation et continuité), paramètres de la matière (comportement physique, dimensions), paramètres de fabrication (taille des machines, poids), paramètres environnementaux ou paramètres humains (usage, perception...). Ces logiques morphogénétiques intègrent les caractéristiques des matériaux, les modalités de mise en œuvre, des aspects culturels. Les relations entre forme, structure et matériau sont informées et interagissent au sein du système. Pour un état de l'art plus complet sur les pratiques computationnelles nous renvoyons à l'ouvrage de Rivka Oxman (Oxman & Oxman, 2014).

Ces modélisations paramétriques s'adossent à des simulations variées : volumétriques, structurales, environnementales, thermiques, lumineuses, économiques (...). L'objet pensé est évalué sous l'angle de sa performance. Le concepteur manipule un « système de conception » dans lequel le potentiel de performance du projet est quantifié et objectivé. C'est la définition des logiques de morphogénèse qui détermine un vocabulaire formel, esthétique et sensible. Le modèle est 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, diagrammes ou dessins 2D) et de représentations quantifiées (surfaces, quantités ou longueurs, nomenclature ...). Les simulations peuvent se décliner à différentes échelles et porter sur des questions constructives, urbaines ou programmatiques. Ces simulations computationnelles deviennent de plus en plus interactives et devraient contribuer à faciliter l'exploration de l'espace des solutions pour dépasser les questions d'évaluation et développer des approches génératives.

### 2.2 Logique processuelle et méta-conception

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 méta-concepteur. Avec l'avènement des technologies numériques dans le champ de la conception, le rôle du designer s'est transformé. Du concepteur créateur d'une œuvre, d'une solution unique, on assiste aujourd'hui à l'émergence d'un méta-concepteur créateur d'un ensemble élargi de solutions répondant aux contraintes du problème (Marin & Bignon, 2013). 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 cet ensemble de potentialités. Le concepteur ne dessine plus un objet mais un système d'objets possibles, une machine à explorer les virtualités.

Si la forme issue des mécanismes génératifs est virtuelle, sans matériaux tangibles ou systèmes structurels familiers, les récents développements des techniques de fabrication numérique facilitent la matérialisation et la construction de formes complexes. Cette nouvelle logique de production déplace la définition de la forme vers celle du processus. La virtualisation de la forme architecturale et sa déformation incrémentielle 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 peut s'inscrire dans un vocabulaire non-standard et les modes de production font références aux techniques de personnalisation de masse.

### **3 La généralisation des « mégadonnées<sup>1</sup> »**

#### **3.1 Une production massive dans le contexte de la ville intelligente et de l'internet des objets**

La « 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 d'information continu, 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. Cette mise en réseau, dans une forme ubiquitaire, de l'ensemble des objets, machines ou entités qui participent à notre quotidien, contribue à élargir le périmètre de l'internet, il autorise la transmission d'une information, il permet des formes d'interaction à distance et contribue à la production croissante d'une grande quantité de données. Cette dynamique constitue l'internet des objets et alimente les « mégadonnées ».

#### **3.2 Traitement et exploitation des « mégadonnées »**

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. La capacité à traiter et organiser les données pour faire ressortir une information utile à la prise de décision se révèle essentiel. Ces dispositifs permettent d'éclairer des prises de décision distribuées et peuvent contribuer à des formes d'organisation consciente des foules et des activités.

Ce flux informationnel autorise par ailleurs la mise au point de nouveaux procédés industriels et processus de fabrication qui donnent à l'information en rôle central dans le pilotage des machines ou dans l'organisation des protocoles. Ces dynamiques s'adossent à des stratégies de performance, d'optimisation, d'économie d'énergie ou d'amélioration des services (Offenhuber, 1707).

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 hétérogènes. Les interfaces dynamiques homme-machine combinent des modes de contrôle à la fois distribués et automatisés. Le système informationnel combinant géolocalisation et mesure des phénomènes devrait pouvoir conduire à une prise de conscience des acteurs qui favoriserait de nouvelles formes de coopération et de nouveaux types de biens communs (Châtelet et al., 2006).

Dans le champ de l'architecture, ces informations contribuent à la compréhension du métabolisme urbain (Batty, 2013). Par ailleurs la généralisation des méthodologies « BIM » prend place dans ce contexte, en cherchant à disposer d'une information plus précise pour la prise de décision, en tentant d'anticiper pour mieux agir, en visant des économies à travers la productivité ou l'utilisation de ressources et processus industriels optimisés. Les chaînes de valeurs et les méthodologies traditionnelles se trouvent parfois renouvelées. Deutsch présente un inventaire des pratiques architecturales qui s'appuient sur des méthodologies BIM et convoquent des données pour informer les processus de conception et de fabrication (Deutsch, 2015). Des exemples d'utilisation de données géolocalisées ainsi qu'une conception assistée par des données sont proposés par les auteurs (Marin, Blanchi, & Janda, 2015).

---

<sup>1</sup> L'expression « mégadonnées » est la traduction officielle de « Big Data », les termes « datamasse » ou « données massives » sont également utilisés

## 4 Donnée, information, paramètre et connaissance

### 4.1 Délimitations

Il apparaît nécessaire de faire la distinction entre les notions de donnée, d'information, de paramètre et de connaissance.

- Une donnée est le résultat d'une mesure ou d'un enregistrement, elle peut-être collectée, stockée et transmise. Une donnée brute ne contribue pas à la prise de décision, elle reste décontextualisée.
- L'approche cybernétique et la théorie de l'information donne au concept d'information une dimension matérielle en le considérant comme un mécanisme propre à organiser la matière et à compenser les phénomènes d'entropie. Si cette définition a depuis fait l'objet de nombreuses critiques, elle a contribué à identifier la capacité de transmission et d'encodage comme un mécanisme central d'interaction au sein des systèmes vivants et artificiels (Triclot, 2008). Une information est issue d'une ou plusieurs données interprétées, triées, structurées, mises en contexte. Elle porte une signification, elle présente une forme de singularité et peut alimenter une prise de décision.
- La connaissance est le fruit d'une réflexion sur les informations analysée. Elle passe par une interprétation du phénomène ou des caractéristiques identifiées, elle mobilise une activité cognitive basée sur un savoir. Cette connaissance peut être objectivée et codifiée ou à l'inverse rester tacite. Elle implique alors une distance critique, une interprétation créative mobilisant intuition, subjectivité et individualité.
- Les paramètres caractérisent ce type de modélisation qui s'appuie sur des modèles associatifs pour construire des représentations géométriques instanciée par les données.

Ainsi, dans une perspective de conception architecturale assistée par les données, celles-ci viennent informer les paramètres d'un modèle pour construire une représentation. Cette dernière constitue une information qui peut être interprétée, en mobilisant une connaissance, ou en constituer elle-même une nouvelle.

### 4.2 Les dynamiques d'ouverture des données

Les technologies de communication et d'information s'accompagnent de pratiques et de relations nouvelles aux propriétés intellectuelles et industrielles. Les initiatives de contribution collaborative, collective ou de pratiques ouvertes ont établie des formes de propriété transmissible et parfois libérée des droits d'utilisation. Les descriptions partageables deviennent des moteurs de conception et de créativité. C'est la possibilité de transmission, de réutilisation, d'analyse, d'évaluation et de modification d'une information ou d'un résultat qui semble être le moteur des dynamiques d'« ouverture des sources ».

Par ailleurs, l'« ouverture des données<sup>2</sup> » constitue la mise à disposition par un organisme de fichiers numériques afin d'assurer une forme de transparence et de permettre leurs utilisations. Ces données peuvent alors alimenter les démarches de conception architecturale et urbaine. Ces modèles s'inscrivent dans les logiques d'innovation à travers la recherche de nouveaux services numériques qui pourraient contribuer à la nouvelle économie et à la création de valeur à travers l'intégration technologique. Il semble important que les architectes s'approprient ces questions pour explorer un espace des possibles et devenir moteur de propositions. Le point de vue de l'architecte, avec ses spécificités et ses capacités à projeter un futur des villes et du cadre bâti pourraient avantageuse-

---

<sup>2</sup> Open data

ment contribuer à préfigurer et façonner les évolutions technologiques à l'œuvre et participer à la création de valeurs économiques et sociales.

## 5 Expérimentations pédagogiques

L'utilisation des « mégadonnées » dans le champ de l'architecture impose l'utilisation d'outils de modélisation capables de parcourir et d'organiser des informations brutes. Nous proposons d'illustrer ces démarches par des expérimentations pédagogiques. Les exercices ont pour objectifs la manipulation de fichiers de données brutes structurées, leurs importations et interprétations pour réaliser des représentations intelligibles qui puissent alimenter un travail de conception architecturale. L'originalité de ces exercices passe par l'utilisation de « données ouvertes » ou produites à l'aide de capteurs individuels. L'environnement de modélisation est Rhino/Grasshopper complété d'extensions. Ici les étudiants n'écrivent pas à proprement parlé un code informatique, mais ils construisent un modèle associatif qui intègre différentes formes d'automatisation, d'algorithmes ou d'interfaces programmées (API : Application Programming Interface).

### 5.1 Modélisation topographique

Le premier exemple (Figure 1) vise la modélisation topographique d'un territoire qui sert de site d'étude. Le travail prend place dans un semestre de Master qui traite de l'échelle territoriale. Les descriptions topographiques sont fournies par des organismes internationaux<sup>3</sup>, principalement issues de la campagne de relevé laser satellitaire du relief de la planète pilotée par la NASA et intitulé SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission). Le relevé offre une précision à 30m de la topographie de la planète à l'exception des latitudes situées au-delà des niveaux 60° Nord et Sud. Les fichiers de données sont découpés avec un carroyage de 1°. L'importation du fichier de données dans Rhino/Grasshopper est réalisée à l'aide de l'extension ELK<sup>4</sup>. Cette extension permet de filtrer le fichier de données pour extraire les coordonnées cartésiennes d'un nuage de points. Les points peuvent ensuite être reliés pour constituer des lignes puis des surfaces. Le modèle numérique du terrain peut être manipulé en tant qu'objet géométrique et servir de support à un travail d'analyse et de conception.

---

<sup>3</sup> Collaboration entre la Nasa (National Aeronautics and Space Administration), la NGA (Geospatial-Intelligence Agency) et les agences spatiales allemande et italienne.

<sup>4</sup> <http://www.grasshopper3d.com/group/elk>

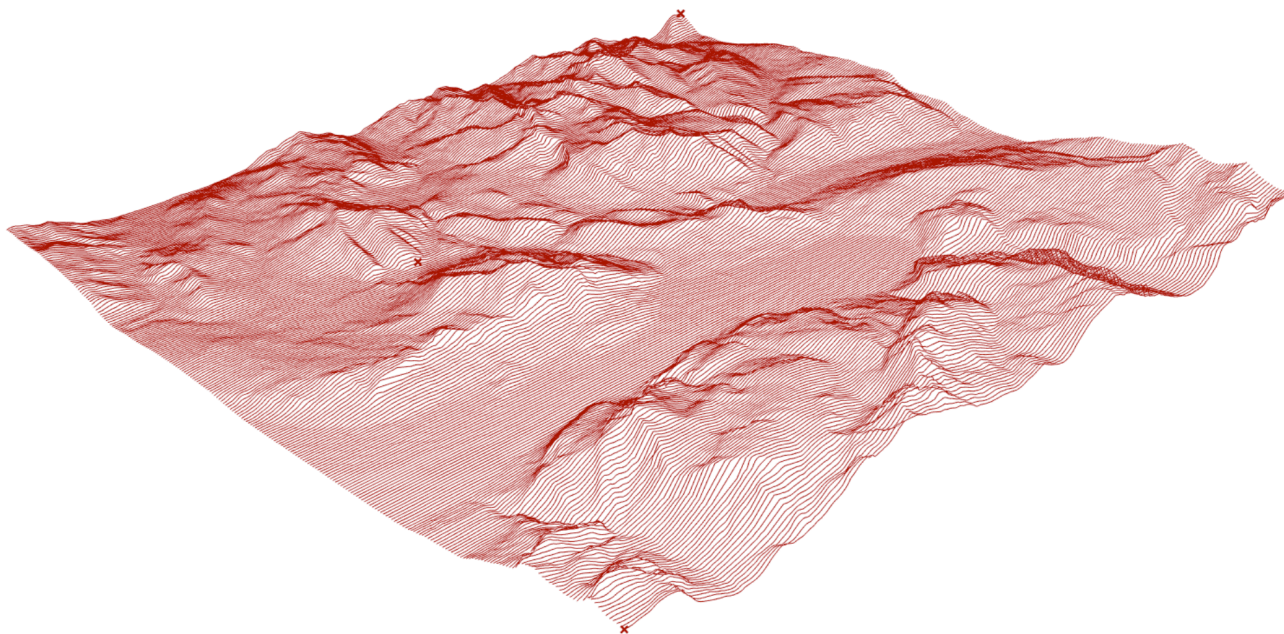


Figure 1. Modélisation topographique du territoire

### 5.2 Géolocalisation de l'activité twitter

La deuxième expérimentation (Figure 2) a pour objectif de représenter l'activité numérique urbaine à travers la géolocalisation des flux twitter sur la ville. L'unité d'enseignement prend la forme d'optionnel de Master et cherche à représenter de manière cartographique et dynamique l'activité twitter d'une agglomération. La construction de l'environnement urbain est réalisée à partir de l'importation des données Open Street Map<sup>5</sup> qui décrivent les éléments constitutifs de la ville : réseaux viaires, bâtis, parcellaires, zonages et frontières administratives. Le fichier OSM (Open Street Map) est un fichier structuré de type XML (« langage de balisage extensible ») qui organise les informations à l'aide une suite de nœuds hiérarchisés et organisés à l'intérieur de balises. Ces éléments rassemblent la valeur des attributs et sont normalisés par Open Street Map. Chaque nœud stocke une géolocalisation, un utilisateur, un état, une date de création et une série de « tag » qui enrichissent la description : nom de rue, type de route, hauteur d'immeuble, matérialité des façades... Ces informations sont constituées et collectées de manière collaborative à l'aide la plateforme Open Street Map.

Le flux twitter est capté en temps réel à l'aide de l'extension Mosquito<sup>6</sup>, qui interroge l'API (Application Programming Language) de Twitter pour trier le flux de tweets suivant un mot clés, une géolocalisation, un utilisateur. Le nombre de résultats issu des requêtes reste limité à 100. Les messages, utilisateurs, localisation peuvent être récupérés dans grasshopper et transformés en entités géométriques pour construire une représentation 3D interactive.

---

<sup>5</sup> <http://openstreetmap.fr>

<sup>6</sup> <http://www.grasshopper3d.com/group/mosquito>



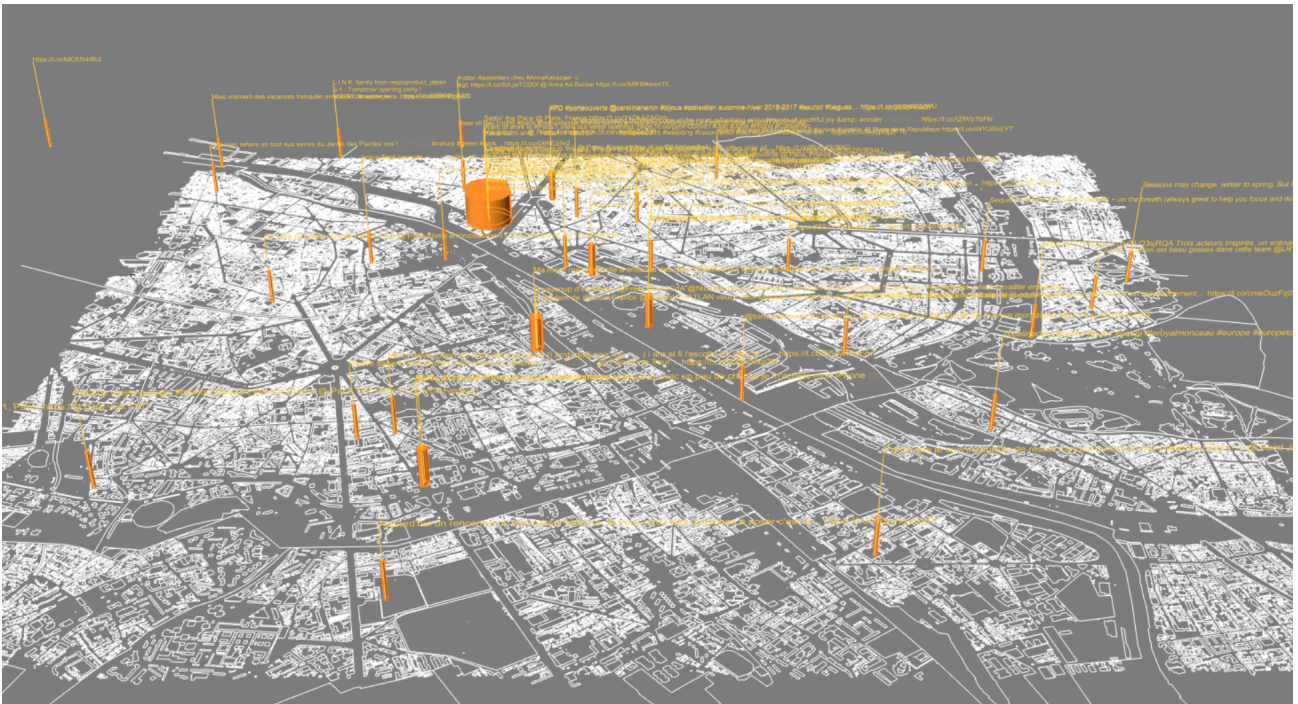


Figure 2. Géolocalisation de l'activité Twitter

### 5.3 Typologie de bâtis

La troisième expérimentation (Figure 2) a pour objectif d'analyser de manière comparative le tissu bâti de 6 bourgs. L'exercice prend place dans un semestre de Master. Les données descriptives de chacune des villes sont issues des informations proposées par la plateforme Open Street Map en suivant les procédures précédemment décrites. Après avoir isolé les informations géométriques décrivant les éléments bâtis un travail de représentation diagrammatique est réalisé : définition d'un périmètre d'étude constant, conservation des échelles pour permettre la comparaison, représentation en noir et blanc du bâti et des cours d'eau puis ordonnancement des figures géométriques à travers un classement décroissant des emprises, et finalement extraction d'informations statistiques (nombre de bâtiment dans le périmètre d'étude, surface moyenne des bâtiment et densité moyenne du bâti sur la zone).

## Modélisation Architecturale Assistée par des données

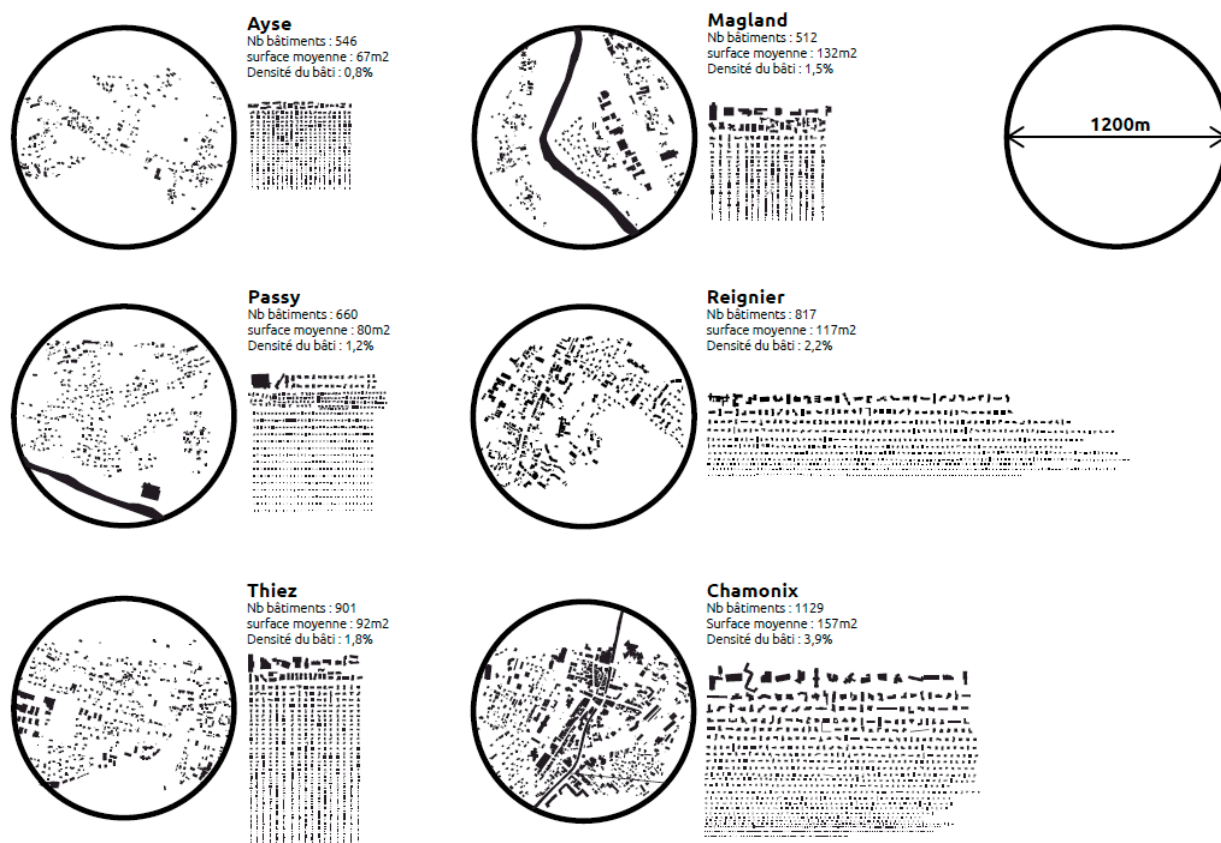


Figure 3. Analyse comparative des typologies de bâtiments

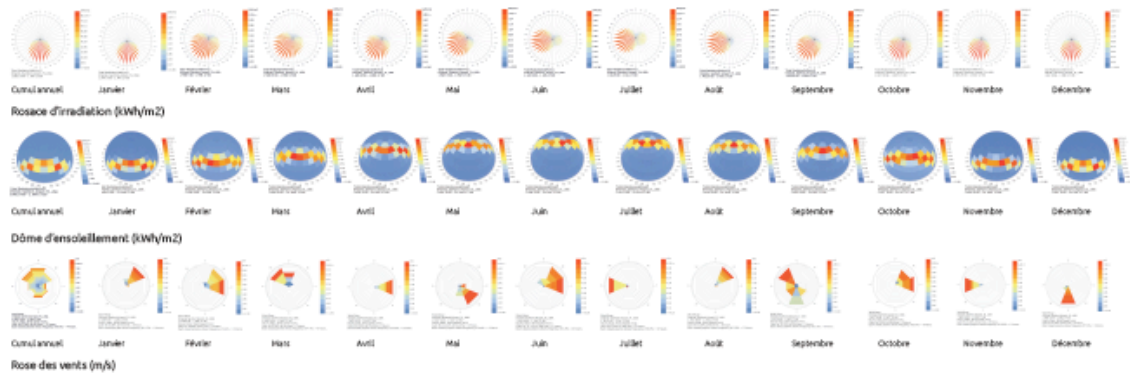
### 5.4 Caractérisation des conditions environnementales

La quatrième expérimentation ( Figure 4) s'attache à la description des ressources environnementales de différents sites en mobilisant des données climatiques et urbaines disponibles et ouvertes. L'exercice prend place dans un optionnel de Master et à pour objectif de construire une analyse des conditions environnementales d'un site. Les données climatiques proviennent de la base de données de l'organisation internationale ASHRAE<sup>7</sup> et des calculs du rayonnement solaire fournis par la NASA. Les données descriptives du contexte urbain proviennent de la plateforme OpenStreetMap. Les extensions Ladybug<sup>8</sup> et Elk sont utilisées pour construire les représentations. Ce sont d'une part des représentations diagrammatiques qui permette de prendre connaissance des qualités environnementales d'un site avec des rosaces des vents, des dômes d'irradiation ou des rosaces d'irradiation. D'autre part la course du soleil, des simulations d'irradiation en fausses couleurs et des études d'ombrage cumulé sont réalisées sur des modélisation en trois dimensions du site. La manipulation des périodes et moments de l'année permet une prise de connaissance interactive des qualités environnementale du site.

<sup>7</sup> American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

<sup>8</sup> <http://www.grasshopper3d.com/group/ladybug>

## Ressources environnementales



## Analyses environnementales

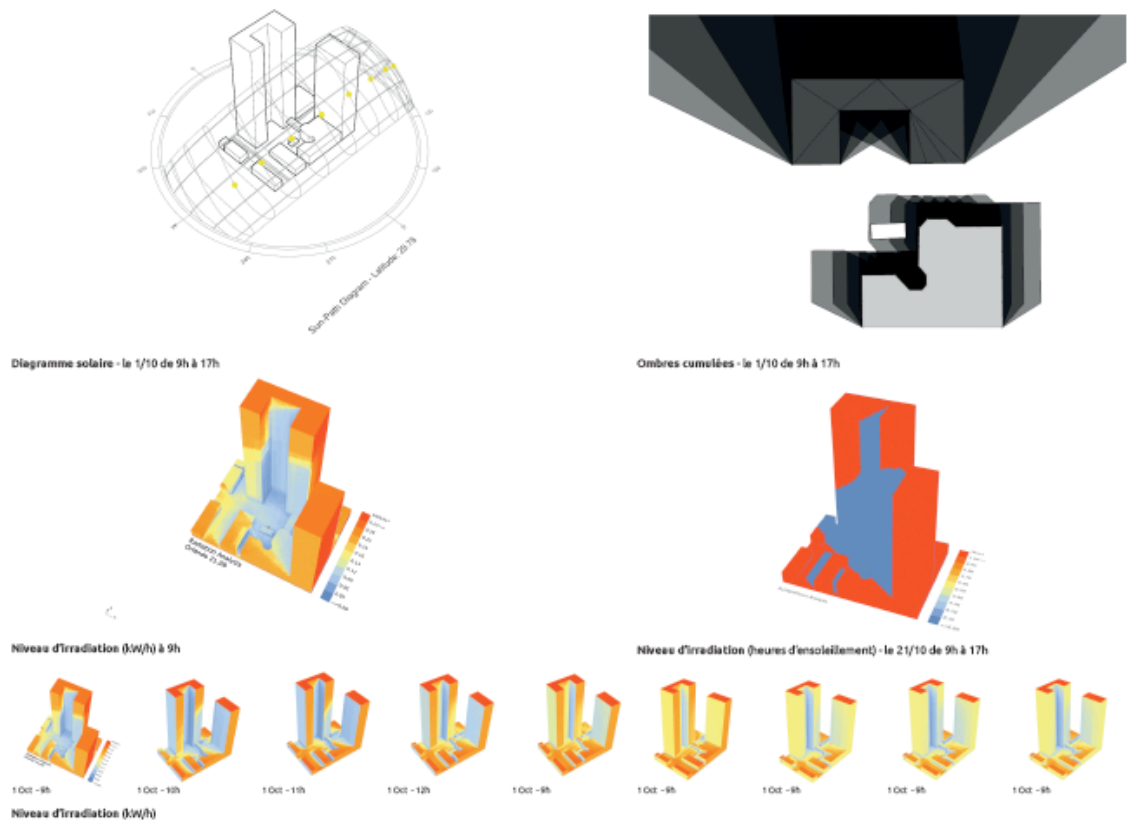


Figure 4 : Représentation diagrammatique des conditions environnementales

## 5.5 Mesure de l'environnement sonore

La cinquième expérimentation ( Figure 5) propose de construire une représentation en trois dimensions d'un niveau sonore géolocalisé le long d'un déplacement. La construction de l'environnement bâti s'appuie sur les informations fournies par Open Street Map. L'enregistrement des niveaux sonores est effectué à l'aide d'une application pour smartphone qui utilise le micro de l'appareil et les fonctions de géolocalisation pour enregistrer les données dans un fichier texte : niveau sonore, latitude, longitude et timestamp de l'enregistrement sont stockés. Le fichier est lu par Grasshopper, les données sont isolées, les informations de géolocalisation permettent de positionner l'enregistrement dans l'environnement urbain et les intensités sonores sont ici représentées à l'aide de cylindres dont la hauteur et la couleur sont dépendantes l'intensité normalisée.

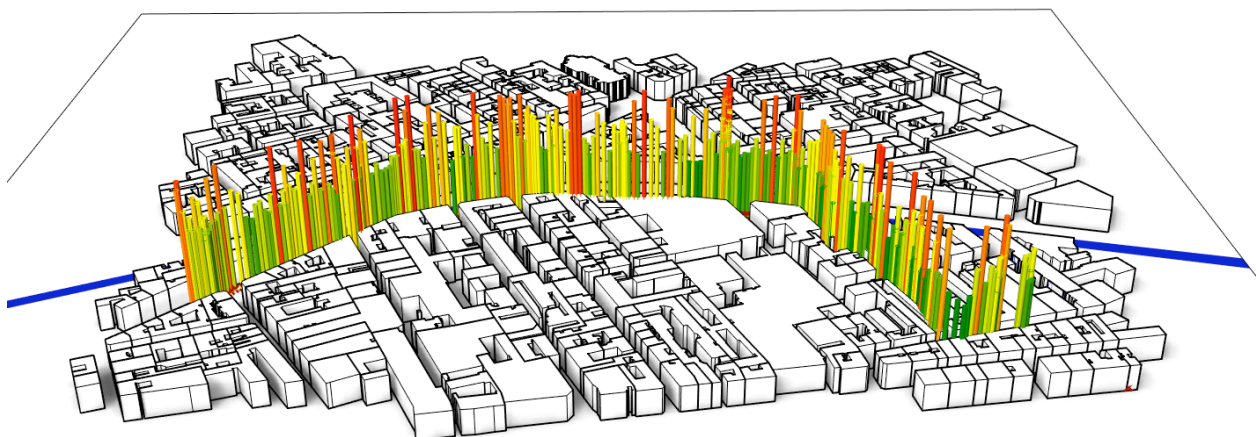


Figure 5 : Géolocalisation des niveaux sonores le long d'un déplacement

### 5.6 Discussions

Ces expérimentations nous permettent de relever une première série de limites quant à l'usage des données pour assister la conception architecturale. L'environnement de modélisation utilisé n'est pas adapté à la manipulation de volumes importants de données et nous nous trouvons rapidement confronté à des temps de calcul et des besoins importants en mémoire vive. De plus le niveau de validité des données n'est pas complet et il semble nécessaire de prendre pleine conscience des modalités de constitution des jeux de données ainsi que des enjeux associés aux « mégadonnées » pour permettre aux architectes de construire leurs postures critiques.

Par ailleurs, nous avons expérimenté les possibilités de collecte et de captation de données à travers l'usage de capteurs individuels ou à travers la contribution aux plateformes ouvertes. Ces modalités assurent une forme d'autonomie dans la production des bases d'enregistrement et de description. Finalement, dans le contexte sociotechnique contemporain, il nous apparaît nécessaire qu'un concepteur architecte acquière la capacité d'interagir avec ces formes encodées des réalités. Ces formes d'écriture qui intègrent représentations visuelles interactives et écritures algorithmiques nous semblent caractériser la littératie à l'ère de l'information.

## 6 Conclusion

Nous avons identifié comment un modèle peut être instancié à l'aide de données. L'information, considérée comme le filtrat des données, naît de leurs spécifications et c'est à travers la paramétrisation du projet que celui-ci est informé. Les données alimentent les valeurs du paramètre, elles deviennent information à l'émergence de singularités.

De manière générale, ces démarches instaurent une trajectoire de mise en données et de cartographie du monde dans une forme mesurable et analysable. Le traitement de ces masses informationnelles impose des logiques de corrélation et non plus seulement de déduction ou de causalité. L'intelligibilité du réel se réalise à travers le prisme des données, nos modes de pensée et d'agir au quotidien évoluent. Une forme d'évaluation qualitative et d'« interopérabilité universelle » se généralise.

Il nous faut marquer les limites de ces approches qui risquent de déléguer les décisions à une forme de traitement automatisé d'une masse informationnelle. Des illusions apparaissent derrière la généralisation des réductions numériques des phénomènes. Les dérapages sécuritaires et la construction d'une société sous-contrôle doivent être évités. C'est par l'appropriation technique des utilisateurs et le renforcement des capacités d'agir en conscience que des postures créatives et éthiques favoriseront des évolutions raisonnées, durables et équitables.

## 7 Bibliographie

- Châtelet, V., Rouillard, D., Pumain, D., Perrin, L., Ratti, C., Berry, D. et al. (2006). *Anomalie digital arts, n° 6 : Interactive cities*. HXX.
- Deutsch, R. (2015). *Data-Driven Design and Construction: 25 Strategies for Capturing, Analyzing and Applying Building Data by Randy Deutsch (2015-10-12)*. Wiley; 1 edition (2015-10-12).
- Marin, P., & Bignon, J.-C. (2013). Metaconception, Evolutionary Tooling of the Creative Design Process. *ELSA - Environment, Land, Society, Vol. 3 : III-IV*.
- Marin, P., Blanchi, Y., & Janda, M. (2015). *Cost Analysis and Data Based Design for Supporting Programmatic Phase*. Proceedings from Real Time ECAADE, Vienna University of Technology, Vienna, Austria.
- Offenhuber, C. R. D. (1707). *Decoding the City: Urbanism in the Age of Big Data 1st edition by Dietmar Offenhuber, Carlo Ratti (2014) Paperback*. Birkhauser Verlag AG.
- Oxman, R., & Oxman, R. (2014). *Theories of the Digital in Architecture* (1 ed.). Routledge.
- Triclot, M. (2008). *Le moment cybernétique : La constitution de la notion d'information*. Editions Champ Vallon.