



HAL
open science

Étude des usages des données 3D dans les projets d'aménagement urbain

Angela Matamoros

► **To cite this version:**

Angela Matamoros. Étude des usages des données 3D dans les projets d'aménagement urbain. Architecture, aménagement de l'espace. 2018. dumas-01881045

HAL Id: dumas-01881045

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01881045v1>

Submitted on 25 Sep 2018

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

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



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



MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES DES ENVIRONNEMENTS URBAINS

SPÉCIALITÉ AMBIANCES ET FORMES URBAINES

Année 2017/2018

Thèse de Master STEU

Diplôme cohabilité :

École Centrale de Nantes

Ecole Supérieure d'Architecture de Nantes

Présentée et soutenue par :

MATAMOROS ANGELA

le 06/09/2018

À l'École nationale supérieure d'architecture de Nantes

TITRE

**ÉTUDE DES USAGES DES DONNÉES 3D
DANS LES PROJETS D'AMÉNAGEMENT URBAIN**

JURY

Président : Pascal JOANNE

Enseignant chercheur

Examineurs : Vincent TOURRE

Enseignant chercheur

Maxime SPUR

Doctorant

Directeur de mémoire : Vincent TOURRE

Laboratoire/Institution : CRENAU

Co-encadrant : Pauline OUVRARD

Résumé en français :

Les projets d'urbanisme deviennent plus ambitieux et complexes dans un contexte d'innovation et développement des nouvelles technologies, d'ouverture des données et de changement constante dans des échelles spatio-temporelles. Les informations de la ville sont plus hétérogènes et leur quantité augmente ; il faut donc faire face aux enjeux plus divers tels que l'exploitation et l'intégration efficaces des données pendant la conception urbaine.

Les outils et les applications informatiques de visualisation et d'aide à la prise de décisions, développés par les sciences de l'information, n'ont pas eu le succès attendu dans leur mise en œuvre. Les projets de recherche sur ces sujets sont nombreux, cependant les études d'usage par rapport au processus réel de conception sont encore rares. Dans ce sens, cette étude porte sur les usages des données urbaines 3D durant la conception des projets d'aménagement urbain ; il s'appuie sur l'analyse des publications scientifiques les plus récentes d'un côté, et la réalisation des entretiens avec des urbanistes qui travaillent sur Nantes de l'autre.

Mots-clés : Aménagement urbain, données 3D, visualisation, CIM, prise de décision, communication, intégration des données, modèle 3D, BIM, SIG.

Titre et résumé en anglais :

Usage of 3D data in urban planning.

Urban planning projects become more ambitious and complex in a context of innovation and development of new technologies, open data and constant change in spatio-temporal scales. The information of the city is more heterogeneous and their quantity increases; therefore, more diverse issues such as the efficient use and integration of data during urban design need to be addressed.

IT tools and applications for visualization and decision support, developed by the information sciences, have not had the expected success in their implementation. Research projects on these topics are numerous, but use studies in relation to the actual design process are still rare. In this sense, this study focuses on the uses of 3D urban data during the design of urban projects; it relies on the analysis of the most recent scientific publications on the one hand, and interviews with urban planners working on Nantes on the other.

Keywords: 3D data, urban data, visualization, urban planning, 3D modeling, decision-making, project management, BIM, SIG.

Discipline : Sciences de l'Environnement

REMERCIEMENTS

D'abord, je tiens à remercier Dieu et ma famille, pour m'avoir soutenue spirituellement tout au long de mes études et la réalisation de ce travail. Je remercie particulièrement mes parents qui, malgré la distance, m'ont toujours encouragée à aller jusqu'au bout.

Je remercie aussi Vincent Tourre et Pauline Ouvrard, mes maîtres de stage, pour leurs conseils et pour la confiance qu'ils ont placée en moi durant la réalisation de ce projet. Je remercie les employés, chercheurs, doctorants et stagiaires du CRENAU avec qui j'ai pu échanger, pour les discussions intéressantes que nous avons eues.

Je remercie également tous les professionnels que j'ai pu interviewer, pour leur contribution, leur intérêt et leur disponibilité : Erell Gimenez, Tania Pare, Philippe Belizaire, Christophe Noraz et Ségolène Charles.

Finalement, je voudrais remercier à tous les amis qui m'ont apporté des bons conseils pour la rédaction de cette mémoire, particulièrement Guy et Luisa Mouchet pour leur patience et leur bienveillance.

A ustedes Marcos, Aquilina, Marco y Evelyn.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	I
LISTE DES TABLEAUX	IV
1. INTRODUCTION	1
1.1 CONTEXTE GÉNÉRAL:	2
1.2 PROBLÉMATIQUE	2
1.3 HYPOTHÈSES	3
2. ÉTAT DE L'ART	4
2.1 LA DÉMARCHE DE PROGRAMMATION ET CONCEPTION URBAINE EN FRANCE	4
2.1.1 <i>Le processus de projet</i>	6
2.1.2 <i>La concertation : un processus itératif de conception collective dans l'opération d'aménagement</i>	8
2.2 LE SYSTÈME D'ACTEURS DE L'AMÉNAGEMENT URBAIN.....	10
2.2.1 <i>L'Assistance à la Maîtrise d'ouvrage (AMO)</i>	11
2.2.2 <i>La Maîtrise d'Ouvrage Urbaine (MOA)</i>	12
2.2.3 <i>La Maîtrise d'Œuvre urbaine (MOE)</i>	12
2.3 CLASSIFICATION ET CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME DE DONNÉES URBAINES	13
2.3.1 <i>Selon leur origine : Réelles et simulées</i>	13
2.3.2 <i>Selon leur nature : Quantitative et qualitative</i>	14
2.3.3 <i>Selon leur modélisation géospatiale: Information géométrique, sémantique et thématique</i>	14
2.3.4 <i>Selon leur temporalité : spatiale, temporelle et spatio-temporelle</i>	15
2.4 FACTEURS QUI DÉTERMINENT L'USAGE DES DONNÉES 3D	16
2.4.1 <i>Accessibilité et disponibilité des données</i>	16
2.4.2 <i>Qualité et fiabilité des données</i>	17
2.4.3 <i>Géoréférencement et intégration ontologique et sémantique des données 3D</i>	17
2.4.4 <i>Interopérabilité des données</i>	19
2.4.5 <i>Expérience des usagers</i>	21
2.4.6 <i>Capacité d'investissement en temps et en argent</i>	21
2.5 SCÉNARIOS D'USAGE DES DONNÉES URBAINES 3D	22
2.5.1 <i>City information modelling (CIM): l'usage des données 3D pour la conception urbaine</i>	22
2.5.2 <i>La géo visualisation 3D: l'usage des données urbaines comme outil de communication et aide à la prise de décisions</i>	25
2.5.3 <i>Simulations Environnementales</i>	28
2.6 OUTILS NUMÉRIQUES POUR LA VISUALISATION ET LA CONCEPTION URBAINE EN FONCTION DES USAGES	30
2.6.1 <i>L'importance de la prise en compte de l'usage pour le choix des outils numériques</i>	32
2.6.2 <i>La controverse entre l'affichage 2D et 3D des données urbaines</i>	33
2.6.3 <i>Outils traditionnels CAD/SIG 2D</i>	35
2.6.4 <i>Système d'information géographique 3D (SIG)</i>	35
2.6.5 <i>Building Information Modelling (BIM)</i>	36
2.6.6 <i>Game engines et outils d'immersion virtuelle</i>	37

3.	MÉTHODE.....	39
4.	ANALYSE DES ENTRETIENS.....	41
4.1	LES PROCESSUS DU PROJET D'AMÉNAGEMENT URBAIN AU PAYS DE LA LOIRE :	41
4.1.1	<i>Pré-programmation et programmation urbaine.....</i>	43
4.1.2	<i>Conception spatiale :</i>	45
4.1.3	<i>Réalisation ou exécution des travaux.....</i>	46
4.2	RÔLES ET INTERVENTION DES ACTEURS AU COURS DU PROJET.....	47
4.2.1	<i>Groupe de pilotage :</i>	47
4.2.2	<i>AMO de programmation :</i>	47
4.2.3	<i>Maîtrise d'ouvrage (MOA) :</i>	48
4.2.4	<i>Maîtrise d'œuvre (MOE) :</i>	48
4.3	USAGES ET CIRCULATION DES INFORMATIONS URBAINES	50
4.3.1	<i>Accessibilité, qualité et nécessité d'intégration des données.....</i>	51
4.3.2	<i>Circulation des données urbaines lors des étapes du projet.....</i>	52
4.4	PRODUCTION GRAPHIQUE ET UTILISATION DES OUTILS NUMÉRIQUES.....	54
4.4.1	<i>Compétences IT des urbanistes</i>	54
4.4.2	<i>Outils numériques pour le traitement des données et la production graphique :</i>	54
4.4.3	<i>Modes de représentation graphique</i>	55
4.5	INTERET PAR RAPPORT A LA VISUALISATION ET LA CONCEPTION 3D.....	57
5.	CONCLUSIONS	60
6.	BIBLIOGRAPHIE :	67

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Aspects du projet urbain abordés dans l'état de l'art.	4
Figure 2 Classification des projets urbains (adapté d'Arab, 2004).	5
Figure 3 Trois instances du système d'acteurs de l'aménagement urbain et leurs interactions. (Chotteau et al., 2015)	10
Figure 4 Intervention des acteurs dans les phases principales du projet (adapté de Toussaint, 2003).	11
Figure 5 La structure physique de l'espace urbain (données topographiques et géométriques) (Hamilton et al., 2005)	18
Figure 6 Dimensions de la conception et modélisation de l'information urbaine. (Hamilton et al., 2005).....	22
Figure 7 Le système d'information 3D de la ville.	23
Figure 8 Co-construction de la ville de Rennes en utilisant de minecraft (Arnaldi, Guitton, & Moreau, 2018).....	24
Figure 9 Visualisation 3D des plans directeurs de la ville de Potsdam en Allemagne (Ross, 2010).	26
Figure 10 Nécessité de la troisième dimension pour des simulations environnementales (Brinis, 2013)	28
Figure 11 Visualisation 3D des contours du bruit en utilisant des données 2.5D (Kurakula, 2007).	29
Figure 12 L'harmonisation de données et d'outils numériques pour la conception urbaine 3D (Julin et al., 2018).	30
Figure 13 Différentes couches 2D et 3D pour la visualisation des données urbaines. (Ferreira et al., 2015)	33
Figure 14 Transition entre la visualisation 2D et 3D. (Dubel et al., 2014)	33
Figure 15 Modèle BIM géoréférencé dans l'espace urbain (Cartwright et al., 2011).	36
Figure 16 Chevauchement entre l'applications du BIM et les SIG à différentes échelles spatiales.....	36
Figure 17 Modèles 3D de réalité virtuelle à l'échelle urbaine et du bâtiment (Mattias, 2013)	37
Figure 18 Image 3D sur SketchUp pour la communication avec les acteurs de l'étude urbain Chauve élaboré par l'agence l'Atelier du Lieu.....	59

Figure 19 Constitution d'un corpus des données urbaines en fonction des besoins des urbanistes.....	60
---	----

Figure 20 Matrice de rôles des acteurs par rapport à la circulation des informations à chaque étape du projet.....	64
--	----

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Niveaux de détail City GML (adapté de Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2014; C.-E. Tolmer, Castaing, Morand, & Diab, 2014).....	20
Tableau 2 Tableau utilisé pour organiser les réponses des urbanistes interviewés	39
Tableau 3 Liste des entretiens réalisés par ordre chronologique.....	40
Tableau 4 Étapes du projet après identification des tâches communes.....	42
Tableau 5 Données nécessaires à chaque étape du processus.....	53
Tableau 6 Modes de représentation graphique élaborés par les interviewés.....	56
Tableau 7 Classification et propriétés des informations du corpus.....	61

1. INTRODUCTION

La nature des projets urbains a changé ; aujourd'hui, les projets d'urbanisme sont plus ambitieux et complexes ; cela signifie une gestion de processus ouverts, interactifs et itératifs qui impliquent des actions, des acteurs et des échelles temporelles et spatiales (Frébault, 2005).

De plus, à l'image de l'ingénierie concourante, le flux d'informations géré dans les projets d'aménagement urbain implique une gestion des informations hétérogènes et d'une grande quantité des données (Chotteau, Zetlaoui-Léger, & Meunier, 2015; Dartigues, 2001). C'est la raison pour laquelle il faut faire face aux enjeux plus divers tels que l'exploitation et l'intégration efficaces des données pendant la conception urbaine (Thompson, 2016).

Il existe alors un fort potentiel d'automatisation à exploiter dans les modèles de données urbaines 3D. Pour cette raison, au niveau mondial, les sciences de l'information développent des outils et des applications informatiques de visualisation et d'aide à la prise de décisions ; ceux-ci n'ont pas eu le succès attendu dans leur mise en œuvre. Les projets de recherche sur ces sujets sont nombreux, cependant les études d'usage par rapport au processus réel de conception sont encore rares (Billger, Thuvander, & Wästberg, 2016).

Dans ce sens, cette étude porte sur les usages des données urbaines durant la conception des projets d'aménagement urbain ; il s'appuie sur l'analyse des publications scientifiques les plus récentes d'un côté, et la réalisation des entretiens avec des urbanistes qui travaillent sur Nantes de l'autre.

1.1 CONTEXTE GÉNÉRAL:

Les processus des projets urbains sont itératifs et transversaux, aussi bien par la circulation et l'intégration des informations que par la participation de divers corps de métiers parfois difficiles à faire dialoguer (Eleb-Harlé, 2000). Ces informations grandissent en volume et hétérogénéité dans un contexte d'ouverture des données en général et particulièrement des données géographiques ; par conséquent, dans le champ de l'aménagement urbain, il y a une forte tendance à mener des actions qui permettent faire face à ces problématiques.

Dans un contexte d'évolution et d'innovation urbaine constante (Arab, 2007), de plus en plus, les urbanistes ont besoin de renouveler leurs méthodes et outils de gestion pour le traitement et l'analyse des données, la prise de décision et la communication avec les acteurs concernés. Le défi le plus important de cette démarche est le développement des outils compromettant le dialogue entre les acteurs (Billger et al., 2016).

Pour répondre à cette situation, le monde de l'informatique propose la visualisation et l'intégration des données sous des représentations ontologiques 3D, ainsi que des solutions innovantes utilisant de nouvelles technologies pour la gestion, l'analyse et le traitement des informations. Les outils les plus puissants tels que les Systèmes d'Information Géographiques (SIG), Building Information Modelling (BIM), la réalité virtuelle (VR), etc. possèdent des avantages indéniables, mais aussi des limites qui empêchent leur utilisation efficace pendant la planification urbaine.

Pour l'usage des données 3D, il est donc nécessaire d'étudier les besoins, les attentes et les objectifs des usagers, ainsi que d'évaluer les outils potentiels pour leur visualisation (Billger et al., 2016) et d'identifier les facteurs qui entravent ou facilitent leur application dans les processus de prise de décision et de conception.

1.2 PROBLÉMATIQUE

La thématique de cette recherche provient de l'observation de l'utilisation des données 3D dans l'aménagement urbain. On constate que malgré leur potentiel et l'actuel développement des outils de gestion, de visualisation et d'analyse des données animés par les sciences de l'information, elles sont encore trop peu utilisées en aménagement urbain.

L'objectif initial est :

- D'Identifier et de sonder les besoins des professionnels par rapport aux usages et visualisation des données dans la programmation et la conception urbaine.
- De faire l'état de l'art sur les usages actuels des données urbaines 3D et de poursuivre les interviews des professionnels de l'urbanisme afin de proposer des scénarios d'usage.
- D'élaborer un corpus des données spatio-temporelles exploitable.

La problématique de cette démarche repose sur les questions suivantes :

- Quels sont les principales limites et potentiels usages des données 3D pour l'urbanisme ?
- Comme intégrer l'usage des données 3D dans les phases complexes de la planification urbaine ?
- Comme choisir les outils numériques en fonction des usages des données 3D ?

1.3 HYPOTHÈSES

Pour répondre aux questions posées dans la problématique nous soulevons, comme hypothèse principale, que l'usage des données 3D peut augmenter l'efficacité de la conception urbaine, ainsi que renforcer les processus de prise de décision et de communication avec les acteurs du projet.

Cette hypothèse se décline en trois hypothèses. D'abord, l'usage des données urbaines 3D est limité par un manque des compétences informatiques des acteurs du projet urbain concernant l'utilisation des outils numériques avancés de visualisation et d'analyse des données. Deuxièmement, les urbanistes n'utilisent pas la 3D pendant la planification urbaine pour des questions économiques ; leur implémentation coûte cher et prends beaucoup de temps. Et enfin troisièmement, l'interprétation des données urbaines visualisées en 3D par des non-experts comme les citoyens et les élus donne lieu à des ambiguïtés qui entravent son usage ; celles-ci ralentissent la communication entre les professionnels de l'aménagement urbain et leurs clients.

2. ÉTAT DE L'ART

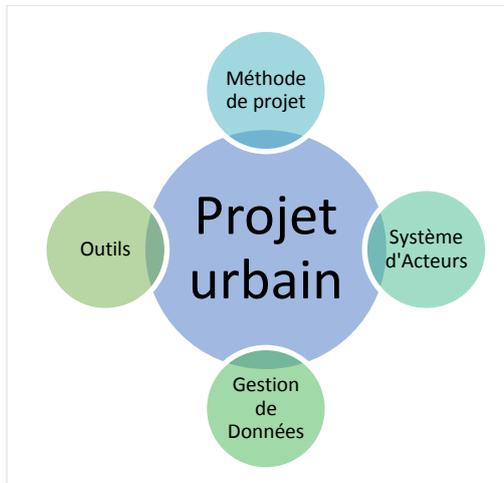


Figure 1 Aspects du projet urbain abordés dans l'état de l'art.

La complexité des projets urbains suscite l'intervention d'un grand nombre de disciplines et de divers sujets de l'ingénierie, architecture, sciences sociales, politique, droit, etc. C'est pour cela que le pilotage de ce type de projets implique le management des différents systèmes, des acteurs, une méthode de projet, l'étude des échelles temporelles et spatiales et aussi la manipulation d'un gros volume de données urbaines et

d'outils. Nous aborderons ces axes de projets urbains pour comprendre l'évolution de l'urbanisme et leur adaptation à des nouvelles technologies, l'usage d'outils numériques innovants et l'accroissement des données hétérogènes.

2.1 LA DÉMARCHE DE PROGRAMMATION ET CONCEPTION URBAINE EN FRANCE

Dans le champ de l'aménagement urbain, il n'existe pas une théorie fixe pour décrire la méthode du projet urbain. Mais seulement, un nombre réduit d'études a réussi à donner certaines approches au regard des sciences de la gestion, dont la plupart prennent en compte les retours d'expériences de projets emblématiques en France. Cependant, la théorie et les connaissances gestionnaires par rapport à la dynamique et les mécanismes de projet est encore insuffisant et faible (Arab, 2007).

Pour approfondir le concept du projet urbain et bien distinguer leurs différentes formes, Arab classe les projets urbains en trois types : les projets de développement, les projets d'aménagement et les projets immobiliers (Arab, 2007). En premier, les projets de développement ont pour but la planification d'un territoire communal ou intercommunal à long terme sans établir une date limite ; les grandes lignes du projet de ce type établissent des actions comme le DTADD, SRADDT, Scot, PDU, PLH, PCET, SDA, SDEP, etc. (Martouzet, 2018). Les projets immobiliers ou architecturaux sont la forme la plus commune du projet urbain ; c'est donc à ce niveau que les concepts de maîtrise d'œuvre ou maîtrise d'ouvrage sont bien abordés par le domaine du BTP (Bâtiment et travaux public) dans le secteur de

la recherche ou la pratique (Arab, 2007). Au contraire, on peut affirmer que les projets d'aménagement sont intermédiaires entre les deux types de projet précédents et deviennent donc les plus complexes ; ils ont une durée approximative de 10 à 25 ans (Arab, 2007). Bien que nous abordons une partie des projets immobiliers, l'intérêt de cette recherche se focalise sur les projets d'aménagement, ceci en raison de leur incertitude, leur système complexe et la nécessité de comprendre leurs mécanismes sous une logique théorique et empirique.

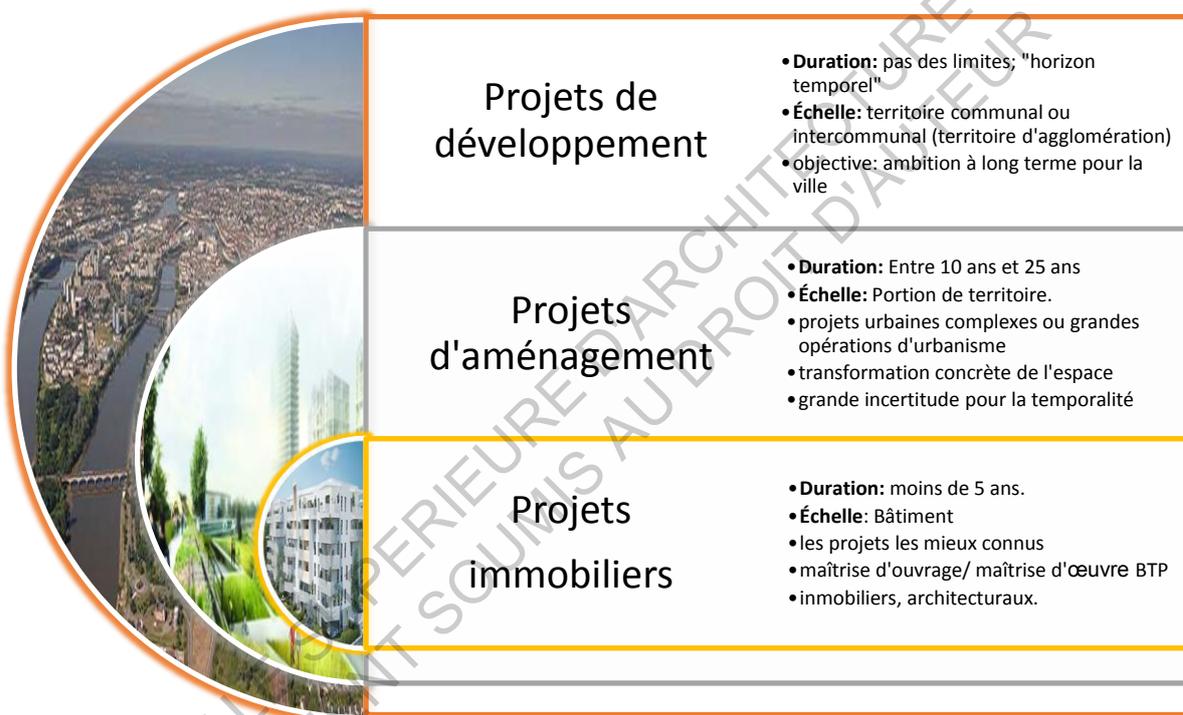


Figure 2 Classification des projets urbains (adapté d'Arab, 2004).

L'aménagement est « *une organisation globale de l'espace destinée à satisfaire les besoins des populations intéressées en mettant en place les équipements nécessaires et en valorisant les ressources naturelles* » (Grand Robert)¹; les équipements des terrains qui font partie de l'aménagement urbain peuvent être des travaux d'infrastructure (voirie, réseaux, espaces verts et espaces publics) ou des travaux de superstructure (équipements scolaires, culturels, sportifs, parkings publics) (Bassetti, Martin, & Vivier, 2017).

¹ <http://grand-robert.lerobert.com/>

L'opération d'aménagement est définie comme l'organisation d'une portion de territoire et la transformation concrète de l'espace qui s'inscrit dans un projet urbain, et doit donc présenter des nouveaux usages et fonctionnalités pour ses utilisateurs (Arab, 2004; Bassetti et al., 2017; Chotteau et al., 2015; Martouzet, 2018). Elle est constituée par un projet d'urbanisme porté par une personne publique, des travaux d'aménagement et d'équipement, un aménageur et des moyens de financement (Bassetti et al., 2017). Sa démarche suscite la modification des usages de sols qui sont à l'intérieur d'un périmètre défini travers une intervention volontaire dans l'espace à aménager (Frébault, 2005). Pour donner un exemple, les procédures ZAC, les opérations de restauration immobilière, lotissement, etc. rentrent dans le cadre des projets opérationnels (Martouzet, 2018).

2.1.1 Le processus de projet

Le seul noyau commun des projets d'aménagement sont les procédures qui se produisent dans le respect d'un certain nombre de règles ; donc, pour trouver des phases communes, il est important de faire attention à la relation entre la procédure et le processus (Martouzet, 2018). En analogie aux trois étapes d'une représentation traditionnelle de décision énoncées par Lucien Sfez (préparation de la décision, décision et exécution) (Sfez, 2004), Martouzet affirme que tout au long des processus du projet d'aménagement opérationnel il y aura trois phases importantes qui correspondent au programme de l'opération qui prépare la conception, la conception en soi et la réalisation ou exécution du projet (Martouzet, 2018).

En effet, le projet commence quand la maîtrise d'ouvrage analyse la faisabilité de l'opération ; ensuite, suivent les temps de la programmation ; de la conception et de la réalisation (Toussaint, 2003). Selon la loi MOP, la phase en amont d'un projet d'aménagement englobe la programmation et le choix de la maîtrise d'œuvre ; à partir de ce point, il commence la phase de conception (Arab, 2004).

- **La phase de programmation**

La programmation urbaine est la fonction principale de l'assistance à la maîtrise d'ouvrage en phase amont (Chotteau et al., 2015). Dans plusieurs cas, elle est réalisée par un chargé d'opération qui doit recueillir les besoins du client, établir les objectifs et enjeux de l'opération, justifier les décisions d'aménagement, prendre en compte les atouts et contraintes du projet et estimer un budget et un planning pour qu'ils soient formalisés dans un cahier de charges (Toussaint, 2003; Yopez-Salmon, 2011). Elle aura aussi des interfaces avec la conception qui interviendra plus tard en phase aval (Arab, 2004) ; par conséquent, les réflexions de la programmation amènent à imaginer et définir le futur projet ; c'est ainsi qu'elle est un complément de la phase de conception (Chotteau et al., 2015).

- **La phase de conception spatiale**

La conception spatiale est une phase dans laquelle se construit la représentation de ce qui sera effectivement réalisé (Martouzet, 2018). Les potentialités d'aménagement de l'opération identifiées par le maître d'ouvrage dans la programmation sont valorisées (Toussaint, 2003). En fonction des contraintes et objectifs du projet, il s'agit de faire diverses études pour mettre en forme l'idée du projet (Gorioux, 2013), pour répondre au programme établi en phase programmation (Toussaint, 2003) et analyser la faisabilité de leurs exigences (Chotteau et al., 2015).

La conception doit faire face à des enjeux complexes et explorer des concepts qui ne sont pas faciles à comprendre pour tous les acteurs (Gorioux, 2013). Elle teste, alors, la faisabilité de las exigences du projet et « *ouvre des perspectives inexplorées par la programmation* » (Chotteau et al., 2015). Finalement, elle permet ainsi d'élaborer et de valider les documents nécessaires pour l'étape de réalisation (Gorioux, 2013).

- **La phase de réalisation**

Dans cette phase, l'entreprise choisie pour la réalisation pendant la consultation, prend la responsabilité d'effectuer et coordonner tous les travaux nécessaires pour la transformation de l'espace urbain (Martouzet, 2018). Pendant la réalisation, il s'agit de suivre les directives urbaines établies durant la phase de conception (Eleb-Harlé, 2000) et de leur matérialisation physique dans l'espace ; cette phase montre aux habitants et élues l'image définitive du projet (Gorioux, 2013).

2.1.2 La concertation : un processus itératif de conception collective dans l'opération d'aménagement.

Sous le concept de l'ingénierie concourante, née au sein des projets industriels, il s'agit de promouvoir le travail collaboratif des personnes de disciplines différentes durant le processus de développement d'un produit ; ceci s'effectue par une dynamique de groupe qui fait coïncider les buts de chaque intervenant (Dartigues, 2001). De même, une des missions la plus importante de la démarche de la programmation-conception urbaine est de faire participer tous les acteurs du projet et d'harmoniser leurs motivations avec les objectifs de l'opération ; cela implique le co-travail des parties prenantes des opérations simultanées ou concourantes. (Chotteau et al., 2015).

Aussi bien les projets industriels que les projets d'aménagement urbain soulignent la conception collective et leur pilotage comme centre de leur problématique, selon Arab, le modèle d'organisation industrielle n'est pas nécessairement l'idéal à imiter dans le champ de l'urbanisme. Il s'agit cependant de s'y intéresser notamment dans la théorisation de l'activité de projet (Arab, 2004). La méthode de conception change de paradigme et évolue d'un processus séquentiel de travail vers un processus interactif de co-production ou co-construction entre les différents acteurs (Frébault, 2005); cette démarche peut aussi intégrer la co-décision pendant les étapes de concertation qui font partie essentielle du projet (Chotteau et al., 2015).

Depuis les années 1990, le monde du projet et le monde du public ont resserré leurs liens grâce à la concertation (Toussaint, 2003). Cette phase se définit comme un processus géré par la MOA qui permet le dialogue direct et l'implication des différents acteurs en vue d'informer et susciter leur intérêt (Chotteau et al., 2015; Gorioux, 2013). De ce fait, l'avis du public (citoyens, usagers, habitants) est pris en compte afin de définir les actions et les éléments du projet (Chotteau et al., 2015).

La participation du public dans la concertation est indispensable car elle favorise de manière positive le développement d'un processus collaboratif et participatif. (Frébault, 2005). Elle est un outil de prise de décision des choix d'aménagement. Comme une logique qui s'impose, l'analyse des modalités de participation du public est donc devenue le sujet de nombreuses recherches (Arab, 2004).

Tout au long du projet, les échanges sont permanents entre les instances principales du système d'acteurs, essentiellement, la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre urbaine (Chotteau et al., 2015). Par conséquent, les structures rigides du projet doivent changer prenant en compte les différents acteurs, échelles et espaces. Pour atteindre les objectifs et faire face aux enjeux complexes des projets d'aménagement actuels, il est nécessaire de passer d'un urbanisme coopératif à un urbanisme collaboratif : *« Il faut favoriser au maximum les échanges, les métissages et les « frottements » entre les différentes expériences ; parcours professionnels, expertises et cultures »*². (Frébault, 2005).

² Témoignage de **Laurent Théry, directeur de la SAMOA** dans *“La maîtrise d'ouvrage urbaine” pg 73* (Frébault, 2005)

2.2 LE SYSTÈME D'ACTEURS DE L'AMÉNAGEMENT URBAIN

Les projets urbains mobilisent un ensemble organisé d'acteurs dans son système complexe dans ses diverses étapes (Martouzet, 2018) ; ce nombre d'acteurs est de plus en plus large pendant sa mise en œuvre (Frébault, 2005). Le système d'acteurs du projet est composé de trois instances : l'instance décisionnelle (élues, acteurs économiques publics et privés, acteurs de la société civile, etc.), l'instance relative aux usages (habitants, commerçants, riverains, utilisateurs du site) et l'instance technique qui relie les professionnels de l'aménagement urbain et de la construction (Chotteau et al., 2015).

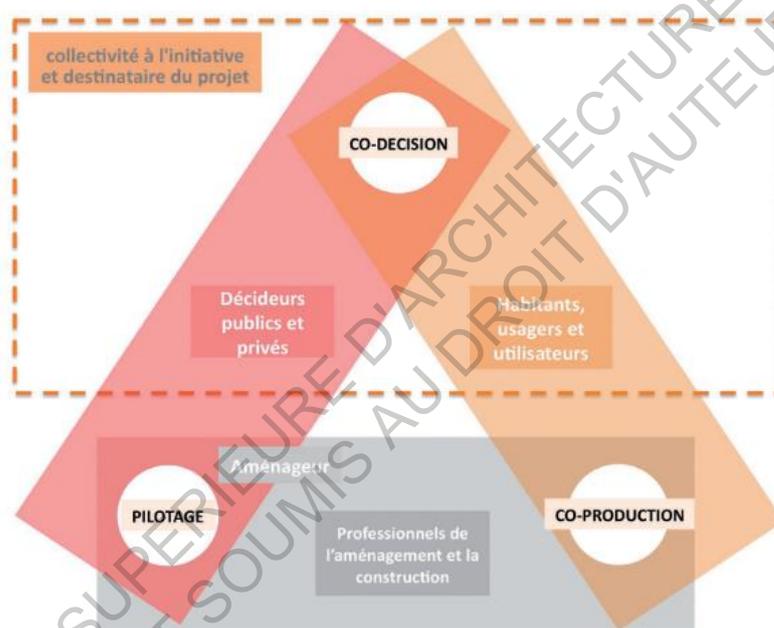


Figure 3 Trois instances du système d'acteurs de l'aménagement urbain et leurs interactions. (Chotteau et al., 2015)

Les acteurs des instances techniques se mobilisent en deux grandes groupes : les concepteurs qui assument la spatialisation (agences d'architecture, d'urbanisme ou de paysage) et les ingénieurs qui garantissent les conditions techniques et le fonctionnement des aménagements (bureaux d'études d'ingénierie) (Toussaint, 2003).

Par rapport aux trois phases principales du projet (programmation, conception et réalisation), Toussaint propose d'organiser le travail en trois régimes d'activité pour plusieurs équipes (Toussaint, 2003). En premier lieu, la maîtrise d'ouvrage (MOA) définit la commande et le programme en appui de l'assistance à la maîtrise d'ouvrage (AMO). Ils doivent prendre en compte l'intervention des autres acteurs (les services techniques, les entités publics et privés, les habitants, les

gestionnaires et concessionnaires), cela afin de recueillir les informations nécessaires pour le projet. En deuxième lieu, la maîtrise d'œuvre (MOE), choisie par la maîtrise d'ouvrage (Chotteau et al., 2015), conçoit et contrôle le projet. En troisième lieu, l'exécution des travaux est fait par les entreprises qui réalisent et livrent les espaces publics (Toussaint, 2003) (Figure 4).

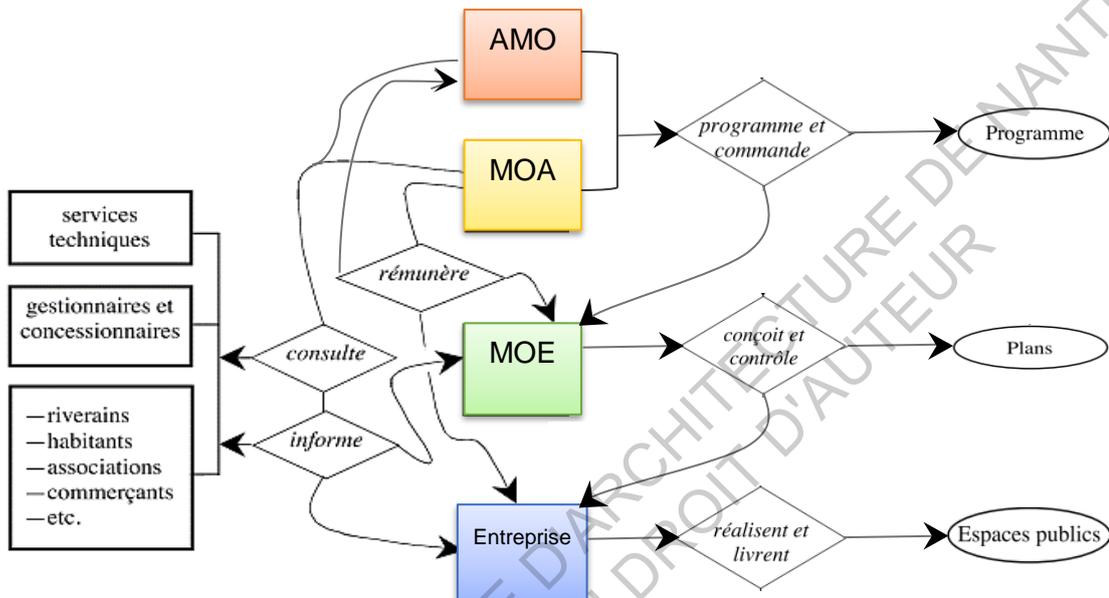


Figure 4 Intervention des acteurs dans les phases principales du projet (adapté de Toussaint, 2003).

2.2.1 L'Assistance à la Maîtrise d'ouvrage (AMO)

Elle accompagne la MOA ou la collectivité pour la formulation des ambitions de l'opération ; l'AMO de programmation aide son client avec la précision des aspects qui concernent la phase de programmation et ainsi, pouvoir choisir la maîtrise d'œuvre (Chotteau et al., 2015). En outre, elle doit prendre en compte les demandes des différentes parties prenantes (Yepez-Salmon, 2011) ; c'est pour cette raison que les professionnelles qui font partie de cette équipe doivent avoir des compétences en sciences sociales et politiques, en architecture, en paysage, en droit et en économie de l'aménagement (Chotteau et al., 2015).

2.2.2 La Maîtrise d’Ouvrage Urbaine (MOA)

La maîtrise d’ouvrage urbaine doit avoir la capacité d’organiser le projet avec une structure forte et efficace (Frébault, 2005). Le bon déroulement de l’opération d’aménagement dépend notamment de la constitution d’une maîtrise d’ouvrage bien organisée (Chotteau et al., 2015) ; elle est constituée par des élus politiques, des collectivités territoriales, ainsi que par des professionnels qui doivent évaluer les besoins et définir les programmes d’action (Toussaint, 2003).

La MOA doit appeler les différentes parties prenantes et bien établir sa commande urbaine avant l’intervention de la MOE, cela en vue de coordonner le projet en prenant compte des nombreuses questions sociétales et de la contribution de la plus large quantité d’acteurs (Chotteau et al., 2015). Elle fixe aussi les objectifs, élabore un budget et établie les délais du projet (Toussaint, 2003). Dans certains cas, elle peut être désignée à un aménageur public ou privé qui assume la responsabilité opérationnelle, intellectuelle et économique et peut chercher, acquérir, viabiliser et commercialiser les terrains (Yepez-Salmon, 2011).

2.2.3 La Maîtrise d’Œuvre urbaine (MOE)

Contrairement à la maîtrise d’œuvre des projets architecturaux (qui conduit les études de conception d’ouvrage, la direction de chantier et de réception des travaux), la maîtrise d’œuvre urbaine (MOE) est chargé de la conception du projet et de la coordination architecturale urbaine (Frébault, 2005). L’équipe est composée par des groupes de techniciens de conception (architectes, paysagistes, urbanistes, bureau d’études techniques (BET)) ; ceux-ci doivent garantir la qualité technique de l’ouvrage en répondant et respectant la commande et le programme établie par le maître d’ouvrage en phase amont (Toussaint, 2003). Elle doit proposer des solutions et chercher les conditions optimales pour les concrétiser dans le contexte du projet (Chotteau et al., 2015). Par ailleurs, son apport est vraiment important lors du processus de négociation avec les partenaires économiques, promoteurs ou investisseurs (Frébault, 2005).

2.3 CLASSIFICATION ET CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME DE DONNÉES URBAINES.

Selon Hillier, les villes sont des systèmes socio-techniques complexes qui ont des composantes humaines (activité humaine, mouvement, etc.) et physiques (bâtiments, rues, routes, infrastructures) (Hillier, 2012), de ce fait, le système de gestion des données territoriales est complexe (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2014). En effet, la planification urbaine doit gérer et accéder à un grand volume des informations qui sont de type géométriques (2D et 3D), thématiques, historiques, recensements nationales, régulations et politiques de la ville, etc. (Hamilton et al., 2005). En plus d'une organisation spécifique, l'aménagement urbain a besoin d'une conception de l'information urbaine (Eleb-Harlé, 2000).

En termes de visualisation et perception de l'espace, il faut distinguer les définitions des données et d'informations. Une donnée est le résultat d'une mesure³ et d'une représentation informatisée de modèles et d'attributs, alors que l'information est une donnée qui permet de prendre une décision parce qu'elle représente le résultat d'un processus d'analyse et de calculs (M. Chen et al., 2009).

Selon la nouvelle littérature scientifique, nous proposons de classier pour cette étude les données selon quatre critères : leurs origines (réelles et simulées), leurs natures (réelles et simulées), leurs modélisations géo-spatiales (géométriques, sémantiques et thématiques) et, finalement, leurs temporalités (spatiales, temporelles et spatio-temporelles).

2.3.1 Selon leur origine : Réelles et simulées

Les données réelles sont des données qui représentent de manière concrète les phénomènes physiques ; autrement dit, elles ne proviennent pas d'illusions ou d'inventions. Contrairement aux données réelles, les données simulées sont le résultat d'une reproduction artificielle de la réalité ; c'est-à-dire, une apparence de ce qui existe effectivement.

³ <http://www.itilfrance.com/index.php?pc=pages/docs/itilv3-03/117-02.inc>

2.3.2 Selon leur nature : Quantitative et qualitative

Les données quantitatives sont des données mesurables dont leur analyse peut être traduite en chiffres et en statistiques ; alors que les données qualitatives ou sensibles ont une nature psychologique. Par conséquent, leur analyse n'est pas mesurable en chiffres, il implique l'évaluation et la compréhension des comportements de certaine population.

2.3.3 Selon leur modélisation géospatiale : Information géométrique, sémantique et thématique

- Informations géométriques :

Selon la définition des ministères en charge du développement durable, du logement, des territoires et de l'agriculture en France, « *Les données géométriques décrivent la forme et la position d'un objet. Elles sont représentées par des points, des lignes ou des surfaces et repérées dans le système de projection retenu, donc superposables avec les autres données* »⁴. Par exemple, les informations sur l'inclinaison, l'orientation et la surface du toit entrent dans cette catégorie (Biljecki, Heuvelink, Ledoux, & Stoter, n.d.). En termes de visualisation, ils existent trois représentations: les formes 2D, 2.5D et 3D; il convient de noter que les données 2.5D ajoutent la hauteur des formes 2D par l'extrusion de leurs points (Brinis, 2013).

- Informations sémantiques :

L'information sémantique définit ce que représente une surface dans le monde réel ; elles sont en fait un supplément par rapport aux informations géométriques (Biljecki, Stoter, Ledoux, Zlatanova, & Çöltekin, 2015). Ce type d'information est indispensable pour l'usage d'un modèle 3D parce qu'il permet son analyse approfondie et son interprétation (Rook, 2016; Zheng, Wu, Chen, Qu, & Ni, 2016).

- Informations thématiques :

Les informations thématiques, qui peuvent être structurées dans une base de données (texte, images, audios, vidéos, etc.), complètent les modèles 3D spatio-sémantiques. Elles documentent des thèmes comme la population, la criminalité, l'habitat, le déplacement, l'occupation des sols, le résultat des analyses 3D effectuées, etc. (Hamilton et al., 2005; Ross, 2010).

⁴ *Essentiel de la géomatique : Les bases de l'Information Géographique.* (Les ministères en charge du développement durable, du logement, des territoires et de l'agriculture, 2013) : http://www.ente-aix.fr/documents/118-demoGeo/demo/4_BasesIG/Module4_BasesIGPublic_130515.pdf

2.3.4 Selon leur temporalité : spatiale, temporelle et spatio-temporelle

- Spatiale :

Cette classification correspond aux données qui représentent des informations géométriques et topologiques sur la structure physique de l'espace urbain (Hamilton et al., 2005) ; ces données seront toujours accompagnées par des références spatiales (Dubel, Rohlig, Schumann, & Trapp, 2014).

- Temporelle :

Les données temporelles intègrent des éléments dynamiques ; elles documentent la date de sa création (Erving, Rönholm, & Nuikka, 2009) et suivent leur évolution au cours du temps. Elles contribuent également à l'organisation des données urbaines, permettant de les analyser de manière efficace et efficiente (Zheng et al., 2016).

- Spatio-temporelle :

Ce sont des données qui représentent la position d'un objet dans le temps et l'espace simultanément (Zheng et al., 2016). Il existe très peu d'études sur leur intégration et leur traitement ; en outre, sa modélisation est compliquée à réaliser (Raza, 2001).

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

2.4 FACTEURS QUI DÉTERMINENT L'USAGE DES DONNÉES 3D

L'intérêt envers la troisième dimension grandit à cause des besoins non satisfaits par la représentation traditionnelle des données géographiques. Celle-ci entraîne des pertes de données et est source d'imprécisions (par exemple, des suppressions des objets volumiques, des représentations incorrectes sur les falaises et les surplombs, etc.) (Mignard, 2012). Les facteurs qui collaborent avec l'évolution progressive des pratiques de l'aménagement sont la disponibilité des données, leur précision et leur potentiel d'exploitation (CSTB, 2014).

Dans ce contexte, nous avons identifié que l'utilisation des données urbaines 3D dépend notamment des facteurs suivants : l'accessibilité de l'information, la qualité et la fiabilité des données, leur géoréférencement et intégration ontologique et sémantique, l'interopérabilité, l'expérience des usagers et, finalement, la capacité d'investissement du projet.

2.4.1 Accessibilité et disponibilité des données

Le système de gestion des données territoriales est complexe ; leur obtention prend beaucoup de temps pendant les premières étapes du projet (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2014). Dans l'aménagement urbain, les données ne procèdent pas d'une même source, ils sont dans diverses organisations, institutions en différents formats. Les urbanistes par conséquent ne peuvent pas avoir le contrôle sur ces données ou les modifier même dans les cas où elles sont déjà intégrées dans un modèle virtuel 3D (Hamilton et al., 2005; Julin et al., 2018).

L'accessibilité est déterminée par la manière dont les données et leurs formats sont publiés ; elle facilite leurs usages dans les futurs projets à des fins de recherche et pratiques (Thompson, Greenhalgh, Muldoon-Smith, Charlton, & Dolník, 2016), cela justement car elle favorise la définition plus précise des caractéristiques d'un quartier et la compréhension des impacts d'un futur aménagement (Ferreira et al., 2015). Par exemple, durant les simulations environnementales fines, la pertinence des indicateurs est limitée par la disponibilité des données (Brinis, 2013).

2.4.2 Qualité et fiabilité des données

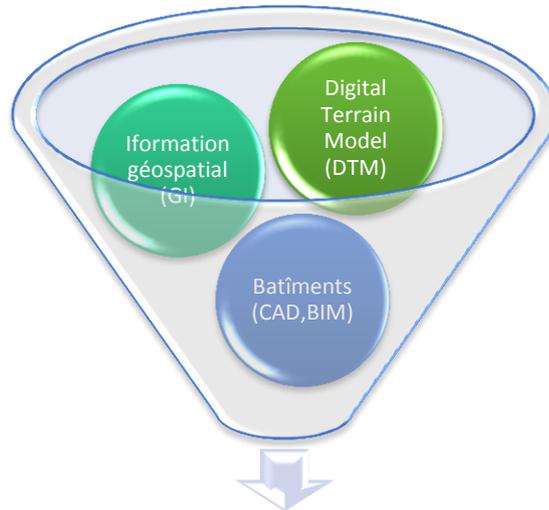
D'abord, la qualité est un des aspects qui ralentissent l'usage des données 3D (Brasebin, 2014) ; dans les échanges d'informations entre les différents acteurs, la qualité participe à la réussite tant technique que managériale du projet (C. Tolmer, 2016). Les critères de qualité pour l'acquisition des données établies pour la norme ISO 199113 sont leur précision géométrique, exhaustivité, précision sémantique, cohérence logique, etc. (ISO/TC-211, 2002) ; dans le milieu urbain, la qualité et la fiabilité des données géographiques dépendent notamment de leur précision (CSTB, 2014).

Par ailleurs, la qualité structurale, qui se mesure par la consistance et la richesse de l'information tant sémantique que géométrique, est un des aspects importants à prendre en compte, cependant, elle reçoit moins d'attention que la précision (Stadler & Kolbe, 2007). Par exemple, il s'agit des simulations fines pendant l'évaluation des conséquences du bruit, la présence des données sémantiques permet alors d'avoir des prévisions plus précises (Rook, 2016).

2.4.3 Géoréférencement et intégration ontologique et sémantique des données 3D

Aujourd'hui le défi de l'urbanisme n'est plus la génération des données, mais leur exploitation et intégration efficace pendant la conception spatiale urbaine (Thompson et al., 2016) ; en outre, l'organisation d'une opération urbaine concerne l'intégration des informations (Eleb-Harlé, 2000) qui, dans un contexte de développement des technologies de l'information, peut être atteint travers la construction d'un modèle 3D des données géolocalisées (Hamilton et al., 2005).

Un modèle 3D détaillé des données urbaines géoréférencées est constitué par l'intégration des données thématiques et sémantiques. Celles-ci sont attribuées à des données topographique et géométriques qui représentent des objets spatiaux de l'environnement urbain comme des arbres, routes, mobiliers urbains, bâtiments, etc. (Gröger & Plümer, 2012; Hamilton et al., 2005) (Figure 5).



La structure physique de l'espace urbain (modèle 3D)

Figure 5 La structure physique de l'espace urbain (données topographiques et géométriques) (Hamilton et al., 2005)

L'intégration des données géométriques peut être utile pour la visualisation de l'espace urbain, mais l'usage des modèles 3D peut augmenter grandement si elles sont accompagnées par des données sémantiques et thématiques (Brodeur, 2012; Rook, 2016). Dans ce sens, l'information sémantique permet l'analyse des modèles 3D parce que elle rend possible l'identification des surfaces d'intérêt comme, par exemple, les murs et les toits, nécessaires pour le calcul d'ensoleillement ou la superficie totale de la façade (Rook, 2016). La construction de ces modèles doit donc favoriser leur intégration sémantique et ontologique, ainsi que le management des flux de travail, non seulement actuellement mais aussi à l'avenir. (Hamilton et al., 2005).

La géolocalisation est le seul moyen d'intégrer les différents types de données dans un même lieu de travail (Hamilton et al., 2005). Par exemple, l'usage des modèles 3D dans la conception de certains projets d'aménagement en Finlande a pu améliorer la gestion des données et du cycle de vie du projet car ils intègrent et géolocalisent des données urbaines. (Julin et al., 2018).

Pour terminer, il faut prendre en compte que l'élaboration d'un modèle 3D des données urbaines demande beaucoup de temps, d'effort et d'argent ; raison pour laquelle elle doit se baser sur les besoins des usagers et prendre en compte la dimension temporelle ; identifier la structure organisationnelle du projet pour organiser les données conformément à leurs fonctionnalités (Hamilton et al., 2005).

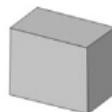
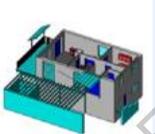
2.4.4 Interopérabilité des données

L'interopérabilité est la capacité d'un système ou d'une opération à faciliter, pour les acteurs du projet, l'accès aux informations sélectives et centralisées ainsi que l'utilisation de leurs logiciels et outils respectifs simultanément sans difficulté ou effort particulier (BuildingSMART France, n.d.; CSTB, 2014). Malgré les efforts des multiples projets de recherche, l'interopérabilité des données 3D reste encore un défi (Julin et al., 2018) ; elle est en développement, mais uniquement à l'échelle du bâtiment (Halbout, 2016).

Les échanges d'informations entre différents réseaux ne sont pas toujours possibles ; pendant les importations ou extractions des données, il y a une perte importante d'information (CSTB, 2014). C'est pour cela que, actuellement, CityGML et les IFC sont des standards internationaux qui se développent pour pouvoir répondre aux exigences de la modélisation des objets, aussi, incrémenter leur interopérabilité (C.-E. Tolmer, Castaing, Morand, & Diab, 2014).

D'un part, le standard ouvert CityGML modélise des données géographiques et leurs informations sémantiques ; il précise les aspects sémantiques et spatiaux des modèles 3D. En outre, sa structure permet l'analyse avancé, échange et stockage des données (Gröger & Plümer, 2012) ; elle divise l'ontologie de l'espace en 5 niveaux des détails (Levels of détails (LODs)) (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2014; C. Tolmer, 2016) (Tableau 1). D'autre part, les formats IFC (Industry Foundation Classes) sont utilisés pour la modélisation des données provenant du secteur du bâtiment (Hamilton et al., 2005) ; la cohérence spatial et sémantique n'est pas rassurée dans ces formats, elle doit s'évaluer (Stadler & Kolbe, 2007). Dans ce sens, les niveaux de détail des données et leurs représentations doivent s'adapter aux besoins des acteurs (C. Tolmer, 2016).

Tableau 1 Niveaux de détail City GML (adapté de Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2014; C.-E. Tolmer, Castaing, Morand, & Diab, 2014)

Niveaux de détail City GML	Échelle	Précision	Dimension	Modélisation	Possibilité des échanges avec IFC
LOD 0 	Territoire		2.5 D	Terrain	No
LOD 1 	Ville, région	5x5 m	2.5 D	Bâtiments	No
LOD 2 	Quartier et Ville	2x2 m	3D	bâtiments, toits	No
LOD 3 	Bâtiment et quartier	0.5x0.5 m	3D	bâtiments, toits, façades.	oui, mais non normalisé
LOD 4 	Bâtiment	0.2x0.2 m	3D	bâtiments (géométrie intérieure)	oui, mais non normalisé

2.4.5 Expérience des usagers

L'adoption des procédés numériques dans l'aménagement urbain n'est pas toujours une démarche immédiate. Dans ce domaine, il y a deux points de vue qui s'opposent : l'un est pour la défense d'utiliser tant les objets matériels que les objets virtuels et l'autre s'oppose à la culture numérique tout en conservant des objets matériels (Brindel, Siret, & Signorelli, 2014).

L'efficacité de l'identification des outils informatiques dépend du coût et de l'accessibilité ainsi comme le niveau d'expertise des usagers ; alors que les aspects culturels et sociaux qui forment partie de l'organisation humaine construisent des barrières pour l'usage des nouvelles technologies (Mattias, 2013).

Un manque d'expertise peut donner lieu à l'incapacité des concepteurs à reconnaître la nécessité de l'usage de la 3D (Julin et al., 2018). Par exemple, dans les SIG territoriaux, malgré leur potentiel usage, les données sont fournies qu'en 2D parce que, dans certains cas, il y a un manque de compétence interne (Halbout, 2016).

2.4.6 Capacité d'investissement en temps et en argent

Les urbanistes accèdent aux données de manière individuelle et les combinent manuellement ; réaliser cette tâche devient fastidieux et exige une haute consommation des ressources de temps ; de plus, leur collecte et leur traitement sont le coût le plus important pendant l'étape d'analyse de la planification (Hamilton et al., 2005). Effectivement, le degré de précision des données 3D est directement proportionnelle à leur coût, leur volume et temps de traitement, donc l'utilisateur doit analyser, au préalable, le gain éventuel de cette investissement (Brasebin, 2014).

2.5 SCÉNARIOS D'USAGE DES DONNÉES URBAINES 3D

2.5.1 City information modelling (CIM) : l'usage des données 3D pour la conception urbaine.

Suite à l'apparition d'une nouvelle forme de conception des bâtiments comme le Building Information Modeling (BIM) dans les années 1970 (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011) ; depuis la moitié du 20ème siècle, apparaît une nouvelle question de recherche : la modélisation de l'information urbaine ou City Information Modeling (CIM) après leur application dans la planification urbaine (Hamilton et al., 2005) et est désignée en France sous le nom de "conception urbaine digitale" ou de "conception numérique de la ville". Selon Thompson, d'une façon générale, c'est la manière dont nous pouvons utiliser la simulation des données 3D afin de planifier et gérer le futur de la ville avec leurs parties prenantes respectifs et la participation citoyenne (Thompson et al., 2016). Ce n'est pas seulement une question de manipulation et de mélange de modèles 3D virtuels issus des modèles CAO, REVIT, SIG, VR, AR, etc., mais aussi une discipline multidisciplinaire qui fournit une méthode puissante pour laquelle chaque modèle spatial généré doit être intégré, organisé, appliqué et facilement visualisé. En outre, le CIM peut représenter les réseaux d'infrastructures et leur interaction avec la gouvernance et l'activité humaine et constitue un outil important pour le suivi, la planification et la conception de l'environnement urbain afin de couvrir les besoins des parties prenantes et de les aider à prendre des décisions (Gil, 2015).

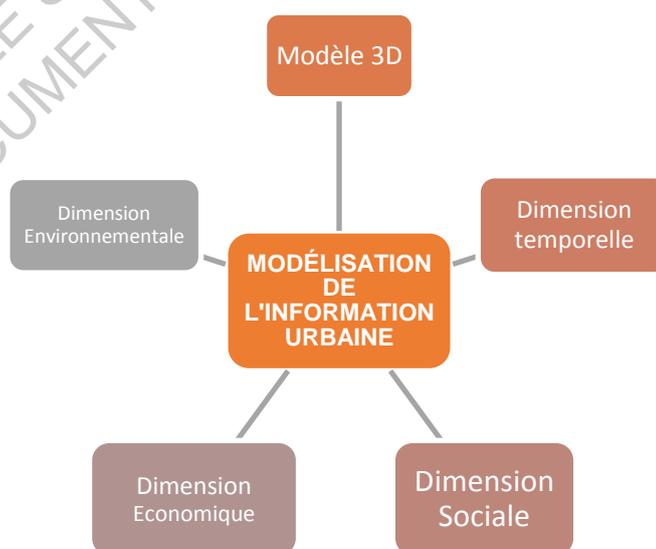


Figure 6 Dimensions de la conception et modélisation de l'information urbaine. (Hamilton et al., 2005)

Puisque la ville et toute représentation d'elle-même sont considérées comme un système socio-technique (Hillier, 2012), il faut prendre en compte que le développement de sa modélisation 3D implique un changement dans le comportement des utilisateurs, les règlements et les lignes directrices et dans la compréhension culturelle qui sont des éléments faisant partie de son système complexe (Geels, 2004; Julin et al., 2018).

Selon Hamilton (Figure 6) la modélisation de l'information urbaine doit toucher plusieurs aspects comme la dimension environnementale, social, économique et temporelle dans un modèle 3D (Hamilton et al., 2005). D'autre part, selon Ross, l'implémentation des systèmes d'information de modélisation 3D est complexe car elle doit intégrer des données hétérogènes qui proviennent de différentes sources (services web, documents, base des données, modèles 3D, entre autres) ; en conséquence, la spécification des normes, des flux de travail et des règles de modélisation sont des éléments importants pour le succès de cette démarche (Ross, 2010). (Figure 7)

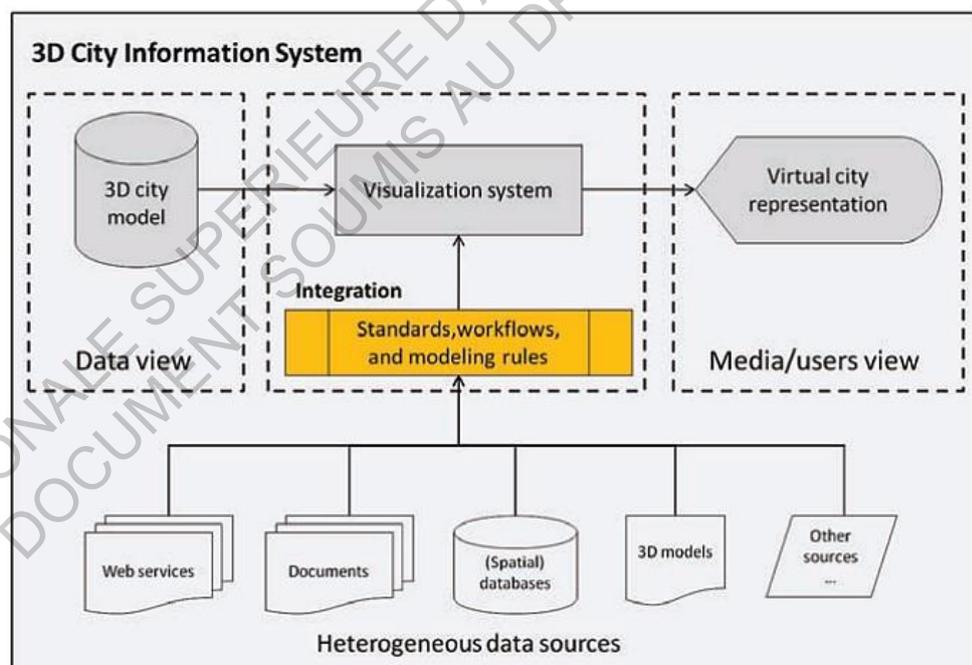


Figure 7 Le système d'information 3D de la ville.

L'usage des modèles 3D pour la conception urbaine n'est pas encore claire et possède certaines ambiguïtés (Biljecki et al., 2015) ; une étude menée en Finlande sur 19 projets urbains conçus sur la base des modèles 3D dans les villes de Helsinki, Espoo, Tampere, Vantaa, Turku et Oulu conclut qu'il y a une contradiction entre les projets réalisés en utilisant des modèles 3D de la ville et les attentes par rapport à leur large applicabilité dans l'urbanisme (Julin et al., 2018). Cela est dû notamment à un manque d'expertise, à l'ambiguïté de la terminologie utilisée, à un manque de coordination et de management et à la lente adaptation des normes à une nouvelle forme de conception (Julin et al., 2018). D'autres exemples d'application dans l'urbanisme en France sont Rennes Craft ⁵, Eco friendly neighborhood Niel à Bordeaux qui ont aidé à la visualisation, communication, le travail collaboratif au sein des communautés et la co-construction de la ville avec les citoyens. (Arnaldi, Guitton, & Moreau, 2018) (Figure 8).



Figure 8 Co-construction de la ville de Rennes en utilisant de minecraft (Arnaldi, Guitton, & Moreau, 2018).

⁵ <http://rennescraft.fr/>

2.5.2 La géo visualisation 3D : l'usage des données urbaines comme outil de communication et aide à la prise de décisions.

Dans l'aménagement urbain, il existe une tendance à renouveler les méthodes de gestion et de prise de décisions (Eleb-Harlé, 2000). La prise de décision doit considérer la ville comme une structure physique influencée par des facteurs sociaux, économiques et environnementaux. Pour prendre une décision effective, il s'agit de donner aux décideurs des informations intégrées et fiables (Hamilton et al., 2005) ; dans ce sens, les urbanistes utilisent des représentations visuelles pour mieux expliquer leurs projets, par exemple, l'usage des images pendant les démarches de concertation avec le public permettent de conférer une certaine réalité au discours (Frébault, 2005). Selon cette logique, la visualisation de l'environnement urbain travers un modèle des données intégrées peut faciliter la planification urbaine (Hamilton et al., 2005).

La visualisation est le processus de transformation des données non visuelles pour les rendre plus accessibles au cerveau humain afin de, notamment, les communiquer efficacement (Dubel et al., 2014). Pendant les négociations avec les partis prenantes du projet, les concepteurs doivent proposer un dessin qui permet une visualisation de l'opération urbaine dans des délais de réaction très rapides (Frébault, 2005), de ce fait, les visualisations 3D sont plus efficaces que les plans ou cartes et aident les urbanistes à faire facilement des présentations devant les élus ou les habitants (Arnaldi et al., 2018) ; ce type d'acteurs non professionnels peuvent reconnaître et comprendre les données géographiques plus facilement car elles semblent plus proches de l'environnement réel (Brink, Lammeren, Velde, & Däne, 2007) ; cependant elles peuvent provoquer des erreurs d'interprétation par rapport aux détails du projet (Arnaldi et al., 2018).

L'autre avantage de l'usage de la géo-visualisation est la construction des maquettes numériques qui sont de plus en plus exigées dans le monde de l'aménagement urbain, surtout dans les projets d'infrastructure. La maquette numérique d'un projet d'aménagement a besoin des données topographiques, des images aériennes du lieu à modéliser, des données sur les types et dimensions des constructions et la végétation (Bonaccorsi, Jacquinod, & Vogt, 2018). Elle est souvent modélisée en utilisant des outils numériques BIM et SIG, mais leur application est réduite à des réunions de concertation ou la communication avec les décideurs (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2014). Cette démarche est différente de la conception 3D car, dans la majorité des cas, les maquettes numériques rassemblent des plans et des informations 2D construits pendant la conception du projet. Dans ce sens, l'intégration des données géographiques géoréférencées nécessite moins d'effort que la transformation et l'intégration des plans pour la construction des représentations 3D, donc la géo-visualisation accélère leur processus de traitement (Ross, 2010).



Figure 9 Visualisation 3D des plans directeurs de la ville de Potsdam en Allemagne (Ross, 2010).

D'autre part, une cause des problèmes de communication est l'inexistence des outils et techniques conventionnels de conception (F. A. Al-Douri, 2010). En plus, l'évaluation des usages pendant le processus de développement des outils de visualisation n'est pas encore bien abordé ; il existe un nombre réduit d'études expérimentales qui sont effectuées dans la planification réelle (Billger et al., 2016). De ce fait, la géo-visualisation doit être plus utilisée dans la pratique afin de montrer au public les avantages de son application dans l'urbanisme (Brink et al., 2007). Par exemple, dans la ville de Potsdam (Allemagne), plusieurs réunions avec les parties prenantes (administrateurs, architectes, investisseurs, propriétaires) ont été menés pour la géo-visualisation du projet travers la création d'un modèle 3D (Ross, 2010) (Figure 9).

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

2.5.3 Simulations Environnementales.

La mesure des phénomènes est représentée par des données environnementales (Brinis, 2013) ; ce sont les thématiques qui concernent ces données les plus analysées surtout dans la conception des Éco-quartiers (Yepez-Salmon, 2011). son exploitation pendant la conception urbaine dépend notamment de l'échelle de l'espace urbain à analyser et sa disponibilité (Brinis, 2013). Dans ce sens, ce sont l'analyse de la forme urbaine (Yepez-Salmon, 2011) et les simulations fines (solaire, aérauliques, sonores, visuelles, etc.) notamment à l'échelle de parcelle et construction et l'analyse de la forme urbaine qui nécessitent des données 3D (Brinis, 2013) (Figure 10).

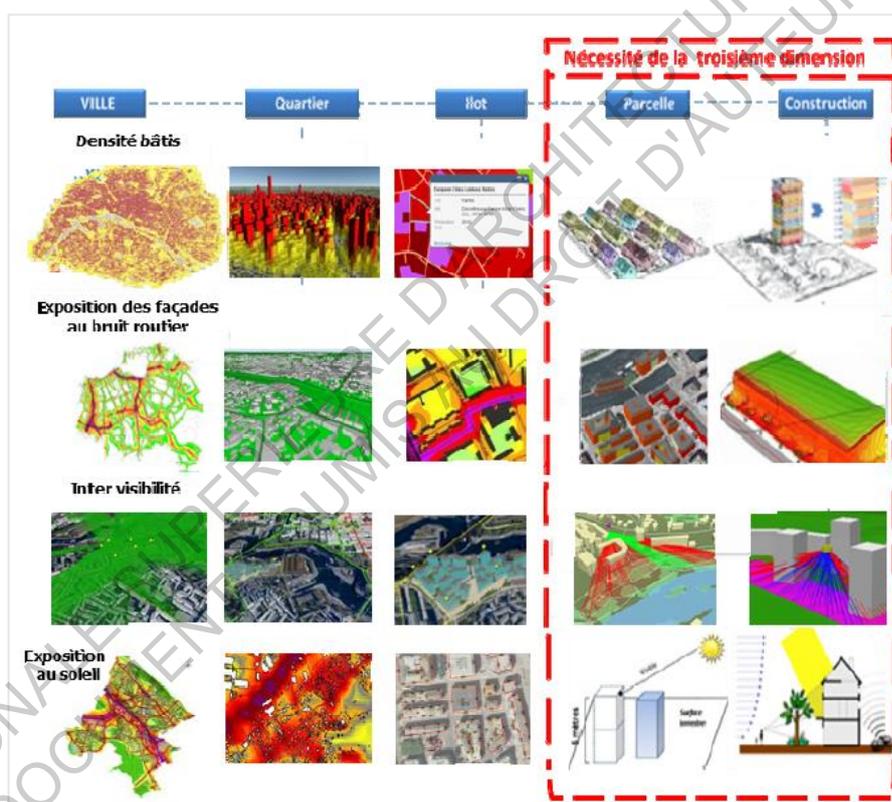


Figure 10 Nécessité de la troisième dimension pour des simulations environnementales (Brinis, 2013)

Pour donner un exemple, selon l'étude de Kurakula, les cartes du bruit n'affichent pas des informations sur l'élévation des bâtiments. Cela ne fournit pas suffisamment d'informations pour le processus d'évaluation du bruit; par conséquent, il s'agit des données affichées soit en 2.5D ou 3D pour les compléter (Kurakula, 2007) (Figure 11).

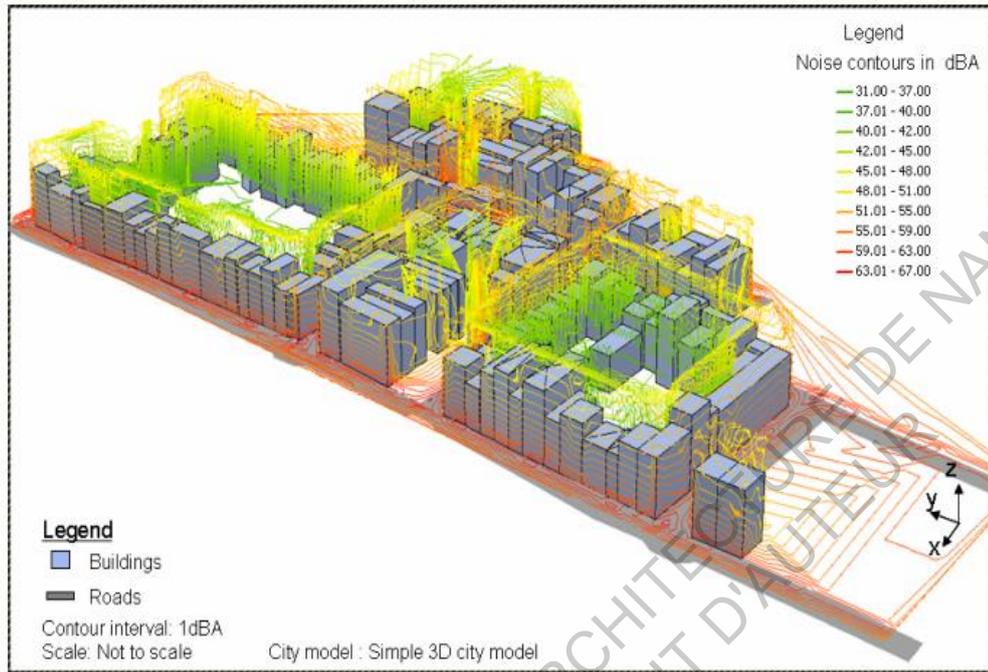


Figure 5.5: Noise contours projected in 3D, built using 2 1/2 D noise model

Figure 11 Visualisation 3D des contours du bruit en utilisant des données 2.5D (Kurakula, 2007).

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'ACCES

2.6 OUTILS NUMÉRIQUES POUR LA VISUALISATION ET LA CONCEPTION URBAINE EN FONCTION DES USAGES

Dans les divers processus du projet urbain, il existe une forte nécessité d'encourager le travail collaboratif entre tous les acteurs surtout dans les moments de prise de décision. Les outils numériques innovantes peuvent aider à la réalisation de cette activité à travers la visualisation des données, mais cela implique plus que le simple fait de communiquer à travers des images ou graphiques (Hamilton et al., 2005).

Les parties prenantes ont besoin d'évaluer la qualité de l'environnement urbain à partir de différents points de vue (Hamilton et al., 2005). C'est pour cela que, malgré l'existence de nombreux outils informatiques et applications IT pour faciliter le travail et les processus de conception collaboratifs, ils ne peuvent pas encore répondre de manière efficace aux besoins du projet ; le management et l'exploitation des informations est loin d'être satisfaisants (Hamilton et al., 2005; C. Tolmer, 2016).

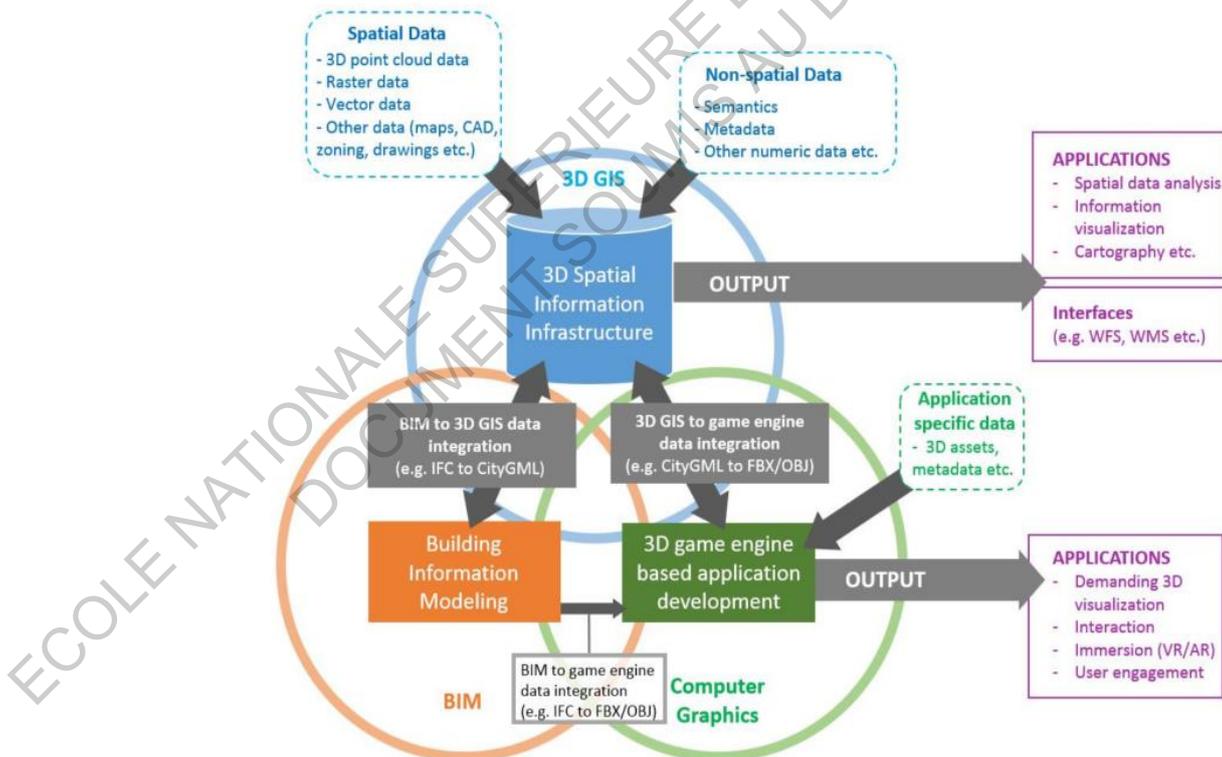


Figure 12 L'harmonisation de données et d'outils numériques pour la conception urbaine 3D (Julin et al., 2018).

De plus, les études d'usages qui sont mises en place au niveau mondial sont plutôt focalisées sur les processus que sur les outils ; cependant, il s'agit d'étudier les besoins, les attentes et les objectifs des usagers et d'évaluer les outils potentiels afin de faciliter leur utilisation par les acteurs et d'augmenter leur performance (Billger et al., 2016). Par exemple, une étude sur l'harmonisation de la modélisation de l'information urbaine 3D évalue l'usage de différents outils dans la planification urbaine en Finlande; il propose d'intégrer les outils existants afin d'améliorer leurs applications (Julin et al., 2018) (Figure 12).

Dans ce chapitre nous aborderons, en premier lieu, l'importance de l'usage dans le choix des outils pour la conception ou la visualisation des données urbaines. Ensuite, comme la présentation 2D et 3D des données urbaines influence dans l'utilisation des outils numériques existants. Finalement, nous présentons les outils le plus importants pour la conception urbaine et la visualisation des données (CAD/SIG 2D, BIM, SIG, outils d'immersion virtuelle et Game Engines), proposés par les sciences de l'information.

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

2.6.1 L'importance de la prise en compte de l'usage pour le choix des outils numériques.

Selon Al-Douri, les facteurs qui ont une importante influence sur l'impact de l'usage des outils informatiques sont le niveau d'expertise et les compétences informatiques des urbanistes et usagers, la méthodologie de planification urbaine, l'efficacité de leur usage pendant tout le processus de conception, et la capacité de visualisation et représentation des données à plusieurs échelles (F. Al-Douri, 2017).

Il est évident que l'usage des outils et des applications numériques avancées pour la prise de décision et la conception ont un énorme potentiel (Hamilton et al., 2005) ; pourtant, ils sont complexes et leur implémentation est difficile même dans les cas où le projet en a besoin ; il faut les simplifier et les rendre plus accessibles (Yepez-Salmon, 2011). C'est-à-dire, les outils de visualisation doivent être adaptés aux différents types des acteurs et contextes de travail (urbanistes qui travaillent pour les autorités, les architectes qui travaille pour les clientes, les clients et le public) (Mattias, 2013). Ils peuvent être utiles pendant la planification urbaine ou, en termes d'apprentissage, de collaboration et de cognition, impulser le développement du processus de dialogue.

Néanmoins, il faut considérer d'autres aspects sociaux pour avoir un processus de dialogue vraiment effectif. Dans ce sens, la formation organisationnelle qui porte sur la propriété claire, suffisante en ressources pour la maintenance et la capacitation sur l'usage de ces outils est nécessaire pour améliorer le processus de dialogue. (Billger et al., 2016).

2.6.2 La controverse entre l'affichage 2D et 3D des données urbaines.

Selon Munzer, les données abstraites sont notamment affichées en 2D car l'affichage en 3D peut donner lieu à des ambiguïtés et controverses pendant leur interprétation (Munzer, 2014). Ce n'est pas aussi clair que de montrer et de rassembler de manière efficace les données abstraites 2D et les modèles physiques 3D (Z. Chen et al., 2017). Il est important que l'analyse des données 2D et 3D soit efficace et que leur visualisation soit faite de manière transparente (Ferreira et al., 2015) (Figure 13).



Figure 13 Différentes couches 2D et 3D pour la visualisation des données urbaines. (Ferreira et al., 2015)

Les outils que les architectes utilisent pour analyser des données ont surtout un affichage en 2D, mais ils ont aussi besoin de la dimension 3D pour communiquer avec les clients et le public (Ferreira et al., 2015). Il faut avoir des informations approfondies sur les villes verticales pour prendre des décisions éclairées et choisir entre les différents scénarios d'aménagement (Z. Chen et al., 2017)

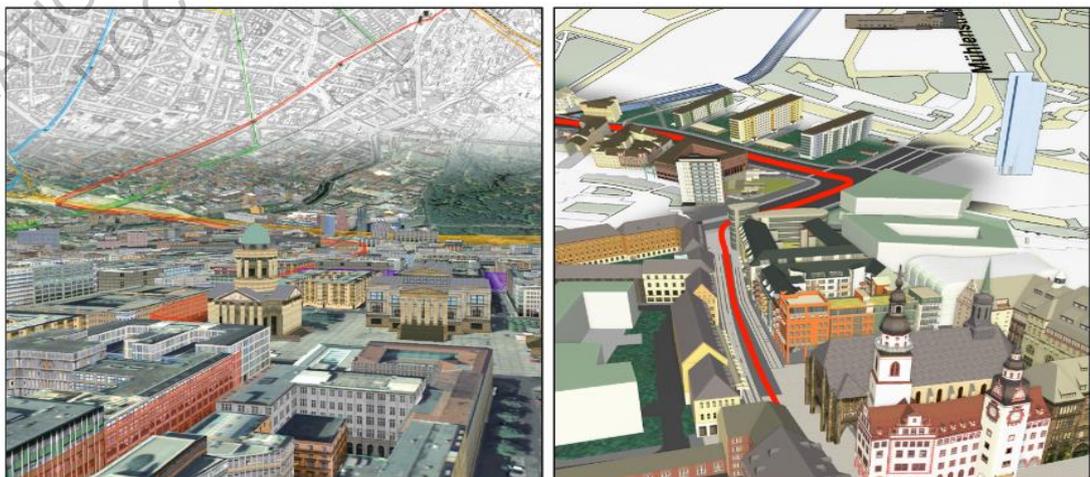


Figure 14 Transition entre la visualisation 2D et 3D. (Dubel et al., 2014)

Les usagers de ces logiciels ont besoin de pouvoir explorer et visualiser les données en fonction de plusieurs couches 2D et 3D, par exemple, être capables d'identifier et de comprendre les liens entre les bâtiments modélisés en 3D et les données urbaines 2D (Ferreira et al., 2015). Dans ce sens, le choix entre l'affichage 2D ou 3D dépend de divers facteurs tels que la complexité des données, la technologie d'affichage et la tâche ou le contexte d'application (Dubel et al., 2014). Il faut donc combiner la visualisation 2D et 3D pour avoir une bonne performance lors de la résolution des problèmes (Dubel et al., 2014) (Figure 14).

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

2.6.3 Outils traditionnels CAD/SIG 2D

Dans le milieu professionnel et entre les différentes cultures opérationnelles, les outils CAD et SIG 2D sont les plus utilisés par les architectes et urbanistes, mais cette forme de travail et ces outils ne sont pas facilement compris par le public (Julin et al., 2018) ; donc ils ont besoin de la dimension 3D pour pouvoir communiquer le projet avec leurs clients et les usagers (Ferreira et al., 2015).

Aujourd'hui, les SIG territoriaux accueillent de plus en plus de nombreuses données urbaines géo-référencés, mais elles sont encore produites uniquement en 2D sans prendre en compte la notion d'altimétrie (z) en raison de la difficulté de trouver un logiciel ou application capable d'exploiter des données 3D (Halbout, 2016).

2.6.4 Système d'information géographique 3D (SIG)

Les SIG ne couvrent pas les demandes de visualisation car les informations 3D de la ville ne sont pas montrées en détail (Hamilton et al., 2005) ; « *les SIG 3D actuels sont le plus souvent restreints à de simples viewers-3D dotés de quelques fonctionnalités* » (Mignard, 2012) ; de plus, sa capacité pour gérer des données temporelles est encore faible (Raza, 2001).

Les applications des modèles SIG 3D requièrent des informations sémantiques (Stadler & Kolbe, 2007), donc son potentiel usage dans l'urbanisme est limité par une manqué de ce type de informations; cependant, ces outils possèdent encore une certaine valeur pour la visualisation des données urbaines (Brodeur, 2012).

L'apport principal des SIG est leur capacité pour l'analyse spatiale de l'environnement urbain (Brasebin, 2014), ainsi que son utilité pour l'intégration et le géoréférencement des données. De plus, il faut prendre en compte que seulement certains informations sont accessibles qu'en GIS ; par exemple, les informations topographiques qui sont nécessaires pour la conception urbaine ou la construction des bâtiments (Liu et al., 2017).

2.6.5 Building Information Modelling (BIM)

L'intégration des modèles BIM dans le contexte géo-spatial est un sujet crucial ; elle facilite l'exploitation et usage des modèles 3D par des ingénieurs et gestionnaires (Hijazi, Ehlers, & Zlatanova, 2010). La visualisation ontologique et sémantique de l'espace urbain est enrichi par les informations des constructions détaillées qui sont fournies par des modèles BIM (Rafiee, Dias, Fruijt, & Scholten, 2014); par exemple, le réseau de pipelines, des informations routières (dessins des ouvrages finis), des informations relatives aux fournisseurs du bâtiment (Cartwright, Gartner, Meng, & Peterson, 2011) (Figure 15).



Figure 15 Modèle BIM géoréférencé dans l'espace urbain (Cartwright et al., 2011).

Les modèles BIM 3D manquent d'informations sur l'espace qui l'entoure (Rafiee et al., 2014); cependant ils favorisent la gestion et l'analyse classiques du SIG telles que la conception optimale d'un réseau de transport de gaz et les systèmes de gestion de l'approvisionnement (SCM, supply chain management) (Cartwright et al., 2011). Dans cette perspective, l'intégration du BIM et les SIG peut contribuer au développement de la conception urbaine, particulièrement dans la gestion des infrastructures (Liu et al., 2017) (Figure 16).

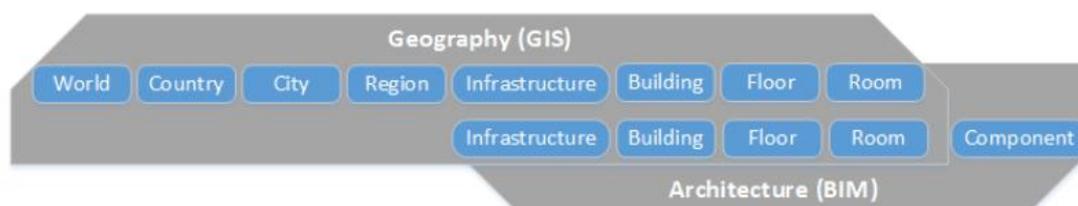


Figure 16 Chevauchement entre l'application du BIM et les SIG à différentes échelles spatiales.

2.6.6 Game engines et outils d'immersion virtuelle

Par rapport aux autres outils, les game engines maximisent l'engagement des usagers et bénéficient énormément aux applications qui ont besoin d'une puissante visualisation 3D, d'une forte interaction des usagers et aussi des applications immersives (VR/AR) (Julin et al., 2018).

Les outils d'immersion comprennent toutes les technologies qui peuvent créer des environnements immersifs virtuels ; leur potentiel usage pour l'analyse et la visualisation des données et leur application dans la pratique est encore une thématique de recherche (Bach et al., 2016). Par leur application dans le milieu urbain, on peut distinguer deux catégories d'environnements immersifs ; ceux produits par la réalité virtuelle (VR) et ceux de la réalité augmentée (AR).

La réalité virtuelle est un outil fondé sur le calcul en temps réel des images synthétiques en utilisant un model 3D qui permet à l'utilisateur de naviguer et d'explorer l'environnement urbain avec liberté et de visualiser depuis différentes directions et différents point de vues (Arnaldi et al., 2018).



Figure 17 Modèles 3D de réalité virtuelle à l'échelle urbaine et du bâtiment (Mattias, 2013)

Malgré leur puissance pour visualiser l'environnement urbain en détail, cet outil n'a pas eu l'impact souhaité dans la planification urbaine (Mattias, 2013) (Figure 17). La modélisation complète de l'environnement urbain est restreinte à l'échelle du quartier autour d'un projet spécifique car, contrairement aux projets architecturaux, le système des données est plus complexe, les ordinateurs ne supportent pas des

grandes quantités et la forme de lire la ville à différentes échelles peut beaucoup changer. (Arnaldi et al., 2018)

Pour comprendre les enjeux du projet ; la géo-visualisation en utilisant des outils de réalité virtuelle doit mieux représenter la réalité des problèmes qui émergent pendant la planification urbaine (Brink et al., 2007). La production des villes par l'expérience de l'immersion visuelle est difficile à financer et l'investissement est difficile à estimer ; de plus, elle prend beaucoup de temps. (Arnaldi et al., 2018)

Cependant, leur application potentielle ouvre des possibilités pour l'analyse des données et la compréhension des divers enjeux qui ne sont pas couverts par les méthodes traditionnelles (Mattias, 2013). Pour une véritable immersion visuelle de l'environnement urbain nécessite des méthodes de modélisation différentes (Arnaldi et al., 2018).

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

3. MÉTHODE

La démarche de cet travail de recherche est composé par deux parties complémentaires : l'élaboration de l'état de l'art et la réalisation des entretiens directifs aux urbanistes qui travaillent sur Nantes ; ces dernières complètent la théorie et permettent de créer un lien entre la recherche et la pratique. Dans les entretiens structurés ou directifs, les questions sont spécifiques (Bryman, 2012) et les personnes interrogées doivent respecter leur formulation et leur séquence⁶. L'objectif est de donner aux interviewés une même contexte des questions et qu'ils soient posées par l'intervieweur de la même manière (Bryman, 2012).

Pendant l'élaboration de l'état de l'art qui prend en compte la révision des articles récents, nous avons constitué une base théorique pour planifier et poser les questions des entretiens. Ces questions sont mises en forme dans une guide d'entretien directif à questions ouvertes (annexe 1) ; pour organiser les réponses et mieux impliquer la participation de l'interviewé, un tableau a été aussi désigné en synergie avec la structure du questionnaire (Tableau 2) afin de connaître leur méthode de travail, leurs besoins par rapport à l'obtention des informations de la ville et les outils qu'ils utilisent pour produire et communiquer leurs modes de représentation graphique.

Tableau 2 Tableau utilisé pour organiser les réponses des urbanistes interviewés

1	2	3 Description des données			6 Usages et représentations				10
Etapes	D'où ils viennent? Qui les produisent?	① Nom et thème (ex. pollution, niveau de PM10)	Type de document (texte, carte, photo, etc)	Propriétés (spatial, temporel, personnelles, réelle/simulées, etc.)	Objectif d'utilisation	Techniques /outils du processus	Mode de représentation	Acteurs concernés	où ils vont après leur utilisation? A qui?

⁶ <https://www.scribbr.fr/memoire/types-entretiens/>

Nous avons contacté 5 professionnelles de l'aménagement urbain pour faire les entretiens d'une heure à travers des recommandations et rencontres dans des conférences liées au sujet de recherche. Les invitations ont été envoyées par mail et, ensuite, nous avons accordé un rendez-vous par téléphone ou par mail. Nous avons essayé de contacter des professionnels qui travaillent tant dans le secteur public que privé et qui possèdent une vaste expérience dans le domaine de l'urbanisme (voir Tableau 3). La majorité des entretiens ont été effectués sur le lieu de travail des urbanistes en utilisant d'un dictaphone pour les enregistrer et pouvoir les analyser dans une étape suivante. Les questions étaient posées dans l'ordre prévu ; lors du déroulement des entretiens, ils parlent et ils remplissent en même temps le tableau. Au début, certains ont pris quelque temps pour comprendre la logique du tableau, mais il les a aidés à mieux réfléchir et organiser leurs réponses.

Tableau 3 Liste des entretiens réalisés par ordre chronologique.

	Sexe	Entreprise	Poste	Equipe	Date et lieu d'entretien	Formation/Expérience en urbanisme	Projets
1	F	Artelia	Responsable de Mission Assistance Générale et Pilotage de projets (AGP)	AMO (groupe de pilotage)	31/05/18 09:30 Ecole Centrale de Nantes 1 Rue de la Noë, 44300 Nantes	Ingénieur 11 ans	*Réaménagement gare de Nantes: Gare Nord et Gare SUD. *Port de Nantes-Nazaire sur le pilotage du projet du site de Saint-Nazaire.
2	F	LAD/SELA Loire-Atlantique développement	Chargée d'opération	MOA *	12/06/18 10:00 Loire-Atlantique développement 2 boulevard de l'Estuaire-CS 66207	Ingénieur 7 ans	* Parc commercial de la Boucardière à Machecoul-Saint-Même. * Lotissement et logement à Châteaubriant.
3	M	DREAL Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement	Responsable d'opérations routières	MOA	15/06/18 10:00 DREAL Nantes 5 Rue Françoise Giroud, 44200 Nantes	Ingénieur 28 ans (sur le réseau routier)	* Complexe de Bellevue
4	M	AURAN Agence d'Urbanisme de la Région Nantaise.	Chargé d'études projets urbains	AMO (programmation)	15/06/18 15:00 AURAN 2 Cours du Champ de Mars BP 60827 44008 Nantes cedex 1	Architecte urbaniste 8 ans	* Etude urbain de la route de Paris.
5	F	l'Atelier du Lieu	Chargée de projet et de recherche en urbanisme et concertation	AMO (programmation)	25/06/18 16:30 Atelier du Lieu 8 rue Geoffroy Drouet -44000 Nantes	Architecte urbaniste 4 ans	* Etude de revitalisation du centre Bourg. * AMO pour un aménagement du centre Bourg * AMO pour l'accompagnement d'un conseil citoyen pour des aménagements.

*Maîtrise d'ouvrage en concession d'aménagement ou en mandat.

4. ANALYSE DES ENTRETIENS

4.1 LES PROCESSUS DU PROJET D'AMÉNAGEMENT URBAIN AU PAYS DE LA LOIRE :

Nous avons interviewé des urbanistes qui travaillent dans diverses phases du processus et projets d'aménagement d'une nature diverse comme celle des études urbaines, infrastructures, ZAC, rénovation urbaine, etc.

Malgré les différents termes utilisés par les urbanistes pour nommer chaque étape, par la prise en compte des phases et étapes légales proposés à l'état de l'art et des analyses des entretiens ; nous identifions des processus en commun qui sont divisés en trois grandes phases : la programmation, la conception et la réalisation du projet. Dans la pratique, il peut y avoir des interphases surtout entre la programmation et la conception et aussi entre les processus identifiés en fonction de la nature du projet ; néanmoins, nous considérons que les étapes identifiées ont des activités et moments de prise de décisions similaires qui doivent être pris en compte pour un futur usage des données urbaines 3D.

Dans la phase de programmation, nous identifions trois étapes : le diagnostic, la proposition des scénarios d'aménagement et, finalement, la formalisation de la vision stratégique. En outre, la phase de conception a deux grandes étapes : l'avant-projet (AVP) et le projet (PRO). Pour terminer, suite la phase réalisation, mais celle-ci ne fait pas partie du sujet d'étude.

Tableau 4 Étapes du projet après identification des tâches communes

		1	2	3	4	5
Phases	Étapes (AMO pilotage)	Étapes (MOA délégué)	Étapes (MOA)	Étapes (AMO programmation)	Étapes (AMO programmation)	
	Pilotage de projets Artelia	Opérations d'aménagement LAD	Projets d'infrastructures DREAL	Études urbaines AURAN	Études urbaines L'Atelier du Lieu	
PROGRAMMATION	Diagnostic	<p>ETP Études Préliminaires/Préalables</p> <p>*Mettre en forme le programme. *Mettre à plat tout la demande *Étudier plusieurs solutions; ensuite, aboutir à une solution.</p>	<p>1 Faisabilité</p> <p>*Récupérer toutes les données et les objectifs du client</p> <p>2 Programmation</p> <p>*Présentation d'esquisse d'aménagement, bilan</p>	<p>1 Études d'opportunité</p> <p>Diagnostic de la situation actuelle</p> <p>Proposition des scénarios d'aménagement</p> <p>2 Concertation publique</p> <p>*Concertation préalable</p>	<p>1 Poser le Diagnostic</p> <p>2 à 4 mois</p> <p>*Point de vue avec l'élue</p> <p>2 études des + préciser le diagnostic, scénarios</p> <p>2 à 4 mois</p> <p>*Identifier les manques; compléter et approfondir les données. *Point de vue avec l'élue</p> <p>3 préciser, dédiner, formaliser la vision stratégique</p> <p>2 à 4 mois</p> <p>*Point de vue avec l'élue</p>	<p>1 Diagnostic</p> <p>*Dégager les enjeux pour la phase suivante.</p> <p>2 Scénarii</p> <p>3 Plan Guide</p> <p>Concertation avec les habitants</p>
	Formalisation de la vision stratégique					
	Scénarios d'aménagement					
CONCEPTION	Avant Projet (AVP)	<p>AVP Avant Projet</p> <p>*Concertation</p>	<p>3 Conception</p> <p>*Désignation des entreprises: MOE *Chiffrage</p> <p>*Concertation</p>	<p>3 Études préalables</p> <p>*Approfondissement des études et actualisation</p> <p>4 Enquête publique</p> <p>*Concertation sous documents réglementaires (obligatoire)</p>	<p>Études urbaines/préalables</p>	
	Projet (PRO)	<p>PRO Projet</p> <p>ACT Assistance pour la passation des contrats de travaux</p>	<p>Chiffrage</p> <p>*Consultation des entreprises de travaux</p>	<p>5 Études de projet</p> <p>6 Consultation des entreprises</p>		
RÉALISATION/EXÉCUTION	EXE	EXE Exécution	4 Réalisation	7 Exécution des travaux		
	VISA	VISA Visa des études d'exécutions				
	DET	DET Direction d'exécution des travaux				
	AOR	AOR Opération de réception	5 Réception	8 Réception des travaux		
	DOE	DOE Dossier des ouvrages exécutés		9 Remise à l'exploitant		

*Les moments les plus importantes de prise de décision et de communication.

4.1.1 Pré-programmation et programmation urbaine.

- **Diagnostic :**

La MOA décide d'analyser la faisabilité du projet d'aménagement, elle va donc récupérer toutes les informations nécessaires ainsi que les études précédentes afin de créer une synthèse du site et d'évaluer les impacts sur le calendrier. Si la MOA est déléguée à un aménageur, cette étape précédente recueille le maximum d'information et les besoins du client qui sont souvent des communes ou des communautés des communes. Ensuite, elle fait appel à l'assistance à la maîtrise d'ouvrage et lui donne ces informations pour commencer la programmation du projet.

Il faut prendre en compte que le système de gestion de chaque projet est différent et que les termes utilisés pour nommer cette phase sont multiples (études préliminaires, faisabilité, études d'opportunité, poser le diagnostic ou diagnostic) ; particulièrement, dans les projets routiers le diagnostic est réalisé dans les études d'opportunité. Néanmoins, nous avons identifié que tous les projets des interviewés commencent avec une étape de diagnostic de la situation actuelle du site à aménager pour pouvoir évaluer les impacts du projet et faire une comparaison avec les propositions d'aménagement qui seront présentées dans l'étape suivante : « *On a besoin de savoir comme est la situation actuelle pour savoir comme elle va être après la réalisation du projet* »³. Dans un diagnostic, se dégagent et se comprennent les enjeux permettant de passer à l'étape suivante.

- **Proposition des scénarios d'aménagement :**

Suite au diagnostic de la situation actuel du projet, les urbanistes proposent des scénarios d'aménagement et discutent d'un projet possible avec la MOA ; ceux-ci sont présentés au public lors de la concertation préalable ou durant les réunions avec les élus : « *Quand on fait une route, on fait plusieurs variantes avec des avantages et des inconvénients. Ensuite, on fait une comparaison des variantes (des propositions d'aménagement) qu'on présente au public (...)* »³. Une première démarche de concertation est recommandable dans cette étape parce que le public ou l'élu doit prendre une décision importante : choisir une solution parmi les diverses variantes.

Tout dépend du type de projet et de la manière dont le diagnostic a été mené, mais généralement les données se précisent dans cette étape. Les urbanistes identifient des manques si nécessaires : *« Dans le diagnostic, on fait avec ce qui existe (...) ; dans la deuxième partie, on va plutôt de fabriquer les données complémentaires (...) ; on a des manques, on les concrète et on les précise, on peut faire des enquêtes sociales ; c'est un peu la même démarche, mais on va plus loin »*⁴. Dans le cas contraire, les urbanistes peuvent avoir collecté la majorité des données en la phase précédente, et donc les informations qui s'ajoutent viennent des discussions avec les acteurs du projet : *« (...) pour l'étape scenarii, on n'a pas des données de plus qui se ramènent. Elles vont venir du travail avec les élus, les habitants, des réflexions en cours. Par exemple, un élu nous parle du cinéma qui est en extension ou sur un projet qu'on n'a pas pris en compte. Mais normalement on aura toutes nos données dans la phase diagnostic »*⁵

- **Formalisation de la vision stratégique :**

La formalisation de la proposition choisie a lieu dans cette étape ; c'est-à-dire, une fois le choix est effectué, les urbanistes de l'AMO définie le plan guide, chiffrent le futur aménagement et établissent des délais du projet avec la MOA : *« (...) on s'arrête sur un scénario, qui peut être un mélange suivant de deux ou trois scénarios, et donc on arrive sur un plan désigné. Là on décline comment seront les équipements, les déplacements, les usages etc. avec un programme et un chiffrage. Donc on discute les choses avec la maîtrise d'ouvrage »*⁵.

L'acquisition des données cesse, cependant ils produisent des autres informations importantes comme des plans, des coupes, des tableaux, etc. ; celles-ci seront proportionnées à la MOA : *« Dans la troisième phase, je en prends plus des données j'ai déjà suffisamment ; par contre, c'est moi qui va élaborer des autres données par exemple, des données spatiales, généralement en format vectoriel (ça peut être dwg., .ai, .sig) »* (...) »⁴.

4.1.2 Conception spatiale :

- **Avant-projet (AVP) :**

En l'étape avant-projet (AVP), les concepteurs, notamment la MOE, doivent évaluer le scénario d'aménagement retenu et leur impact sur le site existant ; aussi, se remettent en question les bénéfices du projet et les raisons pour lesquelles il est fait, cela afin de pouvoir répondre au programme et la commande de la MOA. Il s'agit donc de compléter les informations manquantes, de faire des études plus poussées, de les approfondir et de les actualiser.

Le projet est défini plus précisément et les ouvrages sont pré-dimensionnés ; selon notre interviewée 1, l'AVP est une étape capitale parce qu'elle vérifie le fonctionnement technique du projet et contractualise les étapes suivantes : « (...) typiquement, les prix de prestation de maître d'œuvre sont stabilisés à l'issue de l'avant-projet (...). On a un budget et une estimation des travaux qui est la plus réaliste possible sachant qu'on va l'affiner en PRO. L'avant-projet est une étape capitale (...) »¹.

Un deuxième moment de concertation (nommée "enquête publique" dans le cas des projets d'infrastructure) peut avoir lieu durant cette étape pour recueillir l'avis du public sur des aspects plus précis que celles de la programmation. Dans ce sens, les décisions les plus importantes se prennent pendant l'AVP : « L'objectif est d'avoir mieux concerté à l'AVP (...) c'est important recueillir tous les besoins de tout le monde. Pour qu'on ne remet en question tout ce qui a été définie avant »¹.

- **Projet (PRO) :**

L'étape de projet (PRO) mène à des réflexions de conception très précises ; les informations à ces niveaux doivent être ultra détaillées « on définit précisément le projet (où est la route, le dimensionnement des chaussées, dimensionnement des ouvrages d'art, etc.) ; il faut bien dimensionner pour pouvoir construire (...) »³. Les activités les plus importantes dans cette étape sont le dimensionnement d'ouvrages, l'identification des réseaux existants, l'allotissement, l'élaboration du planning d'exécution et l'estimation fine des prix.

A la fin de cette étape, toutes les actions réalisées avant permettent de consulter les entreprises travaux sur la base d'un dossier de consultation (DCE) ; ceci montre les résultats obtenus, il est donc vital pour effectuer un bon choix : « On arrive à la consultation avec chaque type d'ouvrage, on consulte les aménagements

paysagers, les panneaux de signalisation. On va consulter dossier par dossier. On commence par les ouvrages d'art, après le terrassement, l'assainissement chaussées, etc. »³. Les offres se comparent, la MOE étudie la réponse de chaque entreprise et envoie un rapport à la maîtrise d'ouvrage, finalement, elle décide sur celle qui respecte le plus les exigences du projet conçu.

4.1.3 Réalisation ou exécution des travaux

A ce niveau, la conception de projet est déjà finie ; en conséquence, l'entreprise choisie pour l'exécution des travaux doit s'approprier du projet et redimensionner les ouvrages. Elle reçoit tous les données : *« On va transmettre toutes les données à l'entreprise : elle va refaire les études, affiner la méthode, réaliser l'ouvrage provisoire (...). C'est l'entreprise qui redimensionne les ouvrages à sa façon en fonction de ce qu'elle a prévu comme méthode de réalisation (...) »¹. L'interviewé 3 souligne que parfois les informations concernant aux réseaux peuvent s'actualiser après l'exécution réel des travaux : *« parfois, mettre à jour les réseaux, à chaque étape on fait une déclaration des travaux, on déclare tous les concessionnaires de travaux »³.**

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'ACCÈS LIBRE

4.2 RÔLES ET INTERVENTION DES ACTEURS AU COURS DU PROJET.

Les urbanistes interviewés font partie des équipes suivantes : le groupe de pilotage (1), l'assistance à la maîtrise d'ouvrage (4 et 5) et la maîtrise d'ouvrage (2 et 3). Cependant, quelques uns d'entre eux ont travaillé en tant que maître d'œuvre, donc ils ont apporté leurs connaissances sur le rôle de cette équipe.

4.2.1 Groupe de pilotage :

Dans certains cas et surtout dans de projets complexes qui exigent l'intervention des plusieurs maîtrises d'ouvrage et de maîtrises d'œuvre, un groupe de pilotage général des projets est appelée par la maîtrise d'ouvrage. Il fait partie d'un bureau d'étude de la maîtrise d'œuvre, mais avec un rôle d'assistance de la maîtrise d'ouvrage pour la coordination temporelle du projet et l'intégration des données tout au long du processus d'aménagement, y compris la réalisation et exécution des travaux. Dans le cas de notre interviewée 1, leur équipe était assistée surtout par des ingénieurs.

Cette équipe reçoit toutes les données et les informations du projet directement de la MOA, après elle doit les analyser pour l'aider à prendre des décisions, particulièrement pendant la concertation où il produit une synthèse des points négatifs et positifs des différents scénarios d'aménagement.

4.2.2 AMO de programmation :

Son rôle c'est de conseiller à la MOA dans la phase de programmation à travers une étude urbaine préalable. Elle donne des préconisations aux élus sur les contraintes et atouts du projet pour prendre des décisions dans les différentes étapes et, finalement, faire que les projets s'engagent le mieux possible. Dans le cas de l'urbaniste de l'AURAN, en tant qu'employée d'une institution publique, il n'est pas chargé de faire de la concertation avec les habitants, alors que dans le cas de l'agence l'Atelier de Lieu, l'urbaniste avait mis en place un processus continu de concertation et de co-construction à travers des visites du site et des ateliers avec les habitants.

Pour leur travail, ils obtiennent les données de la MOA et les précisent, en cherchant des données complémentaires sur des sites internet, les SIG, des institutions publics et privées, les études réalisées par des bureaux d'études, etc. Finalement, ils fournissent ces données et leurs interprétations aux maîtres d'ouvrage ou les remettent sur les SIG de la commune pour actualiser les

informations. Cependant, certaines données brutes restent stockées sur leur ordinateur, notamment quand il fallait les produire, leur acquisition n'était pas facile ou les informations étaient sensibles : « (...) je remets à personne les données brutes surtout s'il y a des données sensibles, par exemple, enquête sociaux, on interroge des jeunes mais il faut rendre anonymes ces informations et on n'a pas le droit de les divulguer »⁴.

4.2.3 Maîtrise d'ouvrage (MOA) :

La MOA est chargée de commander les informations ou appeler la maîtrise d'œuvre pour les faire commander « La MOA fournit les informations à l'assistance de la maîtrise d'ouvrage ; il demande les informations au maître d'œuvre et il peut les commander »¹. En outre, elle prend les décisions les plus importantes du projet ; c'est l'équipe qui a le plus de pouvoir.

Elle pilote les études nécessaires pour la conception du projet « (.) Nous sommes les chefs d'orchestre »². Les intégrants de cette équipe (collectivité publique, SEMA SPL, EPI, élus, DGS, aménageurs) n'ont pas besoin de designer, mais ils créent des schémas pour expliquer ou demander des informations « On pilote des études, on ne le fait pas nous-même ; je visualise plutôt ce que font les bureaux d'études ou le maître d'œuvre »³

4.2.4 Maîtrise d'œuvre (MOE) :

La maîtrise d'œuvre a la responsabilité d'apporter des éléments qui doivent répondre de manière effective au programme du projet et à la commande de la maîtrise d'ouvrage ; elle est un soutien technique pour le projet. L'équipe est constituée d'urbanistes, de sociologues, d'ingénieurs et de spécialistes en environnement, etc. ; son contrat porte sur des limites précises.

Dans certains cas, elle peut accompagner à la maîtrise d'ouvrage en amont, mais majoritairement la MOE intervient depuis la phase de conception spatiale « en général, on a une première maîtrise d'œuvre dans la phase de faisabilité et après on a une maîtrise d'œuvre qui ont désigné au début de phase conception et qui nous suivent pour toute la vie du projet »².

La MOE traite les données en, fait des études pointues et commence le design des plans d'aménagement en AVP ; elle peut aussi désigner la maquette numérique urbaine pour autant qu'elle soit demandée par la maîtrise d'ouvrage. Ensuite, elle est responsable de la dimension complète des ouvrages en PRO. Dans cette étape, précisément pendant la consultation des entreprises, la MOE établit des critères techniques de jugement dans un rapport afin d'étudier les propositions de chaque entreprise et pouvoir choisir celle qui interviendra en la phase de réalisation.

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

4.3 USAGES ET CIRCULATION DES INFORMATIONS URBAINES

Les données urbaines utilisées majoritairement par les urbanistes interviewés sont toujours visualisées en 2D ; ils consultent rarement les données SIG au niveau 2.5D s'ils existent. Malgré tout, ils se montrent intéressés par la visualisation en 3D des données spatiales comme la topographie, le relief, la forme de l'espace urbain (surtout des bâtiments au cœur de ville) et les systèmes de réseaux.

La nature des données est diverse (réglementaire, paysagères, environnementales, historiques, etc.) et leur usage dépend notamment du projet, leurs objectifs à chaque étape et du point de vue de l'acteur qui les traite.

Dans ce contexte, nous avons identifié l'importance de savoir quelles sont les problèmes principaux pour l'acquisition des informations, quelle est leur précision requise à chaque étape du projet et comme elles circulent entre les différents acteurs ; cela afin d'évaluer une future implémentation de la dimension 3D.

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

4.3.1 Accessibilité, qualité et nécessité d'intégration des données.

Nous avons abordé dans l'état de l'art l'accessibilité, la qualité et l'intégration des données comme facteurs qui peuvent déterminer leur usage. De l'analyse des entretiens, tous les urbanistes expriment que leur besoin primordial est l'intégration des données notamment dans la phase diagnostic ; cela afin de pouvoir les compiler, les analyser, les développer et créer une synthèse du site.

De plus en plus des informations comme la topographie, la hauteur des bâtiments et des documents réglementaires (PLU, PLUi, etc.) sont fournies dans les SIG des communes ou métropoles, mais souvent il manque des informations comme la photo aérienne au fond ou la pollution sonore. Ils signalent que effectivement ils doivent compléter ces manques en cherchant des données dans différents endroits, aller voir des organismes publics qui ne donnent pas rapidement les informations et les consulter sur d'autres base de données comme Geoportail⁷. De plus, les informations ne sont pas suffisamment précises, actualisées et fiables pour comprendre les enjeux du projet et faire l'état des lieux du site, donc ils sont obligés d'aller sur terrain ou de faire d'autres études pour les produire ou pour les traiter (faune, flore, zone humide, levé topo) ; ces études impliquent un réinvestissement de plus de temps et d'argent ; parfois, ils payent certains organismes pour les obtenir « (...) parfois, nous avons des conventions, on paye certains organismes qui nous donnent des données. Parfois il faut que je demande à la métropole je peux le demander dix fois (...) ». ⁴

Pendant l'acquisition des données, les informations foncières sont les plus difficiles à récupérer (cadastre, maîtrise foncière, valeur foncier (DVF), servitudes, etc.) car elles sont sensibles et se récupèrent chez un notaire ou un organisme public comme l'état « Les informations les plus délicates c'est bien évidemment, les informations foncières ; ça se sont des informations très sensibles, c'est dur à recouper... »⁴. De plus, les données qui correspondent aux emplacements des réseaux causent des problèmes pendant leur traitement car souvent elles sont fournies dans un format difficilement lisible ou elles ne sont pas actualisées, donc l'information visualisée sur le plan n'a pas la précision souhaitée par les urbanistes alors qu'elle s'affine à chaque étape.

⁷ <https://www.geoportail.gouv.fr/>, portail national de la connaissance du territoire mis en œuvre par l'IGN.

4.3.2 Circulation des données urbaines lors des étapes du projet

De l'analyse des entretiens, comme l'indique le Tableau 5, on peut affirmer que les moments où il y a un grand nombre de données requises sont : au début de la programmation dans l'étape de diagnostic et au démarrage de la phase conception spatiale en étape AVP.

En phase de programmation, la majorité des données sont toujours acquises dans la première étape (qu'on appelle par convention diagnostic) ; elles sont raffinées ou précisées dans les suivantes. Les données gérées par les urbanistes qui travaillent avant la conception nécessitent d'une moyenne précision ; cela en vue d'aider les élus, les communes ou leurs clients à définir les grandes lignes du projet. Par conséquent, ils n'ont pas les mêmes données que les aménageurs ou les urbanistes qui interviennent depuis la conception du projet ; cependant, les données appartiennent aux mêmes familles : *« L'aménageur a besoin des données plus précises car ça va impacter le coût derrière, mais les familles sont les mêmes (...). Globalement, on mobilise le même type de données (...) »*⁴, il y aura alors besoin de faire de nouvelles études pour les préciser afin de chiffrer et estimer le coût du projet.

En phase conception, la mission des concepteurs est de préciser les informations à un niveau supérieur ; selon l'information proportionnée par les interviewées 1, 2 et 3, c'est le cas des données géotechniques, de déplacement (trafic), environnementales (la pollution et le bruit), le cadastre et le fonctionnement des réseaux. Généralement, l'acquisition des données s'établit après les réunions de concertation dans l'étape d'AVP et sa précision finit dans l'étape PRO : *« (...) par rapport aux données, en PRO on va venir à demander des choses plus précises qu'elles que on avait »*¹.

Tableau 5 Données nécessaires à chaque étape du processus.

Phases	1	2	3	4	5	
	(AMO pilotage)	(MOA délégué)	(MOA)	(AMO programmation)	(AMO programmation)	
	Pilotage de projets	Opérations d'aménagement	Projets d'infrastructures	Études urbaines	Études urbaines	
	Artelia	LAD	DREAL	AURAN	L'Atelier du Lieu	
PROGRAMMATION	Diagnostic	Programme Levé topographique Fonctionnement du site actuel (réseaux, écoulement des eaux) Comptage trafic Doc d'urbanisme (PLU, PADD) Diagnostic Sondage	Doc d'urbanisme (PLU, PLH) Cadastré Pollution/sol Zones humides Propriétés Faune/flore Zones humides Servitudes de constructibilité, de réseaux Réseaux	Trafic (1an) Lève topo (10 an) Réseaux (1 an) Données environnementales (1 an) Hydrologie Géologie, géotechnique Faune/flore Pollution Environnement humain Doc urbanisme Paysage Bruit	Règlementaires PLU PPR, PSMU Chartes Infrastructures Réseaux Paysagères (hydro, relief) Atlas du paysage Topographie Relief altimétrie Connes de vue Hydrologie Photos, cartes, données sensibles Études phytosanitaires Historiques Monument historique, patrimoine, monument classé Cartes, photographie aérienne, photographies d'avant Sociologiques Parole d'habitants Déplacements Trafic (1an) Transport public Déplacements par jour des habitants Numéro des arrêts en commun Personnes/arrêt Modes doux Station biclou Air (cartes) Sonores Foncières : Cadastré (1an) Maîtrise foncière (1an) Déclaration DIA (déclaration d'intention d'aliéner) Valeur foncier (DVF) Population : INSEE Nombre des logements Pièces par logement Projets en cours	Etudes de déplacement Relève des équipements Doc d'urbanisme (PLU PLUi) Information sur les réseaux d'acteurs Études réalisées Étude commercial Projets en cours
		Formalisation Scénarios			Approfondir (compléter, préciser les données)	Données qui émergent des débats et visites sur site.
		Formalisation Scénarios				
CONCEPTION	Avant-Projet (AVP)	Données géotechniques Pollution Etudes du Bruit Relevé assainissement Études trafic Réseaux	Archéologie Réseaux Étude de sol Données trafics Données acoustiques Réglementaires étude faune/flore (1an)	Actualisation des données (trafic, bruit, etc.) Cadastré Bilan de concertation		
	Projet (PRO)			Essais géotechniques (sondages)		
RÉALISATION		Plan d'aménagement Plan de ventes Bilan financière Calendrier Plans EXE	mettre à jour les réseaux			

*Variation temporelle des données.

4.4 PRODUCTION GRAPHIQUE ET UTILISATION DES OUTILS NUMÉRIQUES.

4.4.1 Compétences IT des urbanistes

Nous considérons que la compétence des urbanistes par rapport à l'utilisation des outils numériques est un aspect clé pour l'exploitation des données 3D, nous leur avons donc demandé leur formation et expérience dans ce domaine.

Les enquêtés soulignent avoir reçu une formation sur les outils AutoCAD, Sketch Up, Illustrator, Photoshop et Ms Office pendant leurs études ; de plus, lors de leurs expériences professionnelles, ils ont appris à gérer des logiciels SIG pour visualiser et acquérir des informations importantes pour leurs projets : « *on commence à utiliser les SIG de la commune ; c'est un outil important car il y a beaucoup des données* »².

Les urbanistes 4 et 5 mentionnent que, lors de leurs études en architecture, ils ont appris en premier à désigner à la main, il y a donc toujours cette culture de faire un mixe entre le numérique et le design à la main. Pour eux, la transition entre l'un et l'autre est compliqué. C'est-à-dire, ils ont besoin de désigner des choses pas très précises au début, donc des schémas à la main ; cependant, ils doivent passer ces représentations à l'ordinateur pour gagner du temps : « *Beaucoup des personnes qu'ont eu un formation architecte commencent forcément à la main. Je ne vois pas comme on peut arriver à designer directement à l'informatique. (...) Je pense que tout la difficulté pour n'importe quelle architecte consiste à faire la transition entre la main et l'informatique au bonne moment ; c'est-à-dire, de pas passer trop vite à l'informatique sinon on galère et, on ne peut pas non plus s'amuser à désigner tout à la main à l'échelle au millimètre avant de passer à l'informatique sinon on perd du temps* »⁴.

4.4.2 Outils numériques pour le traitement des données et la production graphique :

Les urbanistes utilisent des outils traditionnels tels que Excel, PowerPoint, AutoCAD, Illustrator, Photoshop, etc. pour le traitement des données et leur production graphique. Des outils de modélisation 3D comme sketch Up peuvent être éventuellement employés pour la création d'une maquette numérique ; cela en fonction de la demande de la maîtrise d'ouvrage, mais c'est uniquement pour produire une image visuelle du projet et communiquer avec les acteurs concernés : « *J'utilise, pour le traitement des données et la production graphique, AutoCAD,*

Illustrator, Sketch Up, je n'ai pas besoin d'utiliser du Rhino 3D, Cinéma 3D ; ce trois me suffisent. Excel, Microsoft, PowerPoint (présentation avec les élus) ; je ne peux pas présenter AutoCAD avec les élus »⁴. Seulement l'interviewée 5 travaille avec QGIS pour le traitement des données, le géoréférencement et la création des schémas ou de plans ; cet outil est libre et facilite la collaboration entre ses collègues géographes, sociologues et des autres domaines, mais il est un logiciel qui a certaines limites : « On est sur QGIS qui est un logiciel libre, il est très puissant mais il est aussi très instable, il peut planter ; on l'utilise trop dans les orientations d'aménagement et programmation. On fait il y a un tableau d'attribut dans le QGIS, on peut à la fois coupler des données spatiales et à la fois des données numériques (...). On sent que ce n'est pas un logiciel qui est fait pour les architectes, urbanistes, des concepteurs, mais plus pour la géographie, (...). Et puis c'est un logiciel libre, donc c'est assez limité aussi »⁵.

4.4.3 Modes de représentation graphique

Durant la concertation ou les réunions avec les élus, nos interviewées ont besoin de présenter des modes de représentation synthétiques et faciles à comprendre : « On a un métier où il faut que toutes les choses soient comprises pour tout le monde ; donc c'est notre rôle aussi de recompiler toutes les informations et de faire une synthèse lisible »² ; cela peut être fait à travers des présentations en PowerPoint, des rapports, des images retouchées, des plans, des photos, des maquettes numériques ou physiques, etc. en fonction des outils et ressources dont ils disposent : « Je fais beaucoup des cartes, parfois des tableaux, des diagrammes, des histogrammes ; je peux faire de l'image pure aussi (retoucher une photo, je prends une photo et je dessine par-dessus). Par exemple, pour essayer de comprendre l'alignement de voirie, les éléments qui composent, si j'ai un tour. Je fais énormément des schémas »⁴ (voir Tableau 6).

Majoritairement, les urbanistes restent sur la 2D pour l'élaboration des cartes et plans ; une image 3D peut servir, mais seulement pour faciliter la communication avec les communes, les citoyens ou les élus : « On se sert de la 3D plus pour la communication que pour la conception, en conception ce qui va intéresser l'élue est essentiellement l'entretien et la fluidité de l'information, mais ça avec des images peut suffire »².

Tableau 6 Modes de représentation graphique élaborés par les interviewés

Phases	1	2	3	4	5	
	(AMO pilotage)	(MOA délégué)	(MOA)	(AMO programmation)	(AMO programmation)	
	Pilotage de projets Artelia	Opérations d'aménagement LAD	Projets d'infrastructures DREAL	Études urbaines AURAN	Études urbaines L'Atelier du Lieu	
PROGRAMMATION	Diagnostic	Tableaux d'alerte Images (AutoCAD) Schéma en ppt.	Présentation ppt. (<i>Carte de synthèse avec toutes les données</i>) Rapport (esquisse d'aménagement+ bilan + calendrier)	Plans Tableaux Rapports	Écrites et graphiques Coupes (par exemple, pour expliquer la question de relief) Cartes Tableaux L'image pure Diagrammes Histogrammes Schémas (beaucoup).	Plans SIG retravaillé en couleurs, symboles, taille des symboles. Ppt Textes Plans Photos
	Scénarios					Plans SIG retravaillé en couleurs, symboles, taille des symboles. Ppt Textes Plans Photos
	Formalisation					Image 3D (Photoshop) Plans (design à ma main + QGIS)
CONCEPTION	Avant-Projet (AVP)	Plans Coupes Rapports Tableaux (.xls)	Plans et bilan	Plans (beaucoup) Rapports (beaucoup)		
	Projet (PRO)	Plans Tableaux		Plans (beaucoup) Rapports (beaucoup)		
RÉALISATION	Plans	Cartes				

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

4.5 INTERET PAR RAPPORT A LA VISUALISATION ET LA CONCEPTION 3D

Nous considérons que le potentiel usage des données 3D peut se développer dans deux contextes : soit pour la conception urbaine de début du projet ou soit pour la visualisation de l'espace urbain et la communication avec les élus et citoyens. Dans le premier cas, les urbanistes ont accès à un modèle 3D qui contient déjà des données urbaines et ils réalisent la conception du projet sur la base de cette modèle. Dans le deuxième cas, nous pensons à l'hypothèse que les urbanistes construisent des images 3D ou une maquette sur SketchUp ou des autres outils sur la base d'une modèle 3D existante de la ville seulement pour communiquer le projet aux élus et habitants, mais ils restent toujours dans la conception traditionnelle en 2D. Nous avons demandé aux urbanistes leur intérêt par rapport à ces deux types d'usage ; leur réponse a été plus positive pour l'usage des données urbaines pour la visualisation de l'espace urbain que pour la conception urbaine.

D'abord, certains se montrent sceptiques quand on les demande de réfléchir à une conception 3D; la raison la plus importante pour ne pas faire une conception 3D c'est le coût en termes de temps et d'argent ; certains communes n'ont pas les moyennes pour payer la construction d'une maquette numérique ou des autres représentations 3D innovantes comme la réalité virtuelle, de plus, les urbanistes ne peuvent pas passer beaucoup de temps dans l'ordinateur et ils vont avoir besoin toujours de simplifier les choses pour pouvoir gérer des autres activités qui font partie du projet ; en outre, une conception 3D implique un changement des outils et formes de travail qui n'est pas nécessairement intéressant sauf si le projet est complexe. *« Il faudra commencer tout début pour que tout ça passe en 3D, ça serait compliqué changer de route. Je ne vois pas trop l'intérêt sauf si on trouve une complexité qui exige de changer d'outil »*¹

L'urbaniste de l'AURAN signale qu'ils ne sont pas encore prêts pour une conception 3D par rapport à l'interaction avec l'élu et les habitants ; quand c'est le cas, il pense à la possibilité de pouvoir concevoir des projets en 3D quand il existe un outil qui les permet d'avoir des espaces de convivialité et d'interaction *« on pourrait concevoir en 3D quand on serait prêt à faire ça tous ensemble autour d'une table. Je pense que si c'est juste un écran et on dit plus haut et je vois le bâtiment qui manque c'est beaucoup moins convivial qu'une maquette physique »*⁴

Aucune donnée utilisée par les urbanistes est affichée actuellement en 3D, donc nous avons aussi demandé quelle types de données peuvent les aider à mieux concevoir le projet si elles sont affichées en 3D ; tous sont d'accord sur la nécessité

et l'importance d'avoir des données topographiques (relief, cuves de niveaux) en troisième dimension pour mieux comprendre le terrain ou les utiliser comme base pour créer leurs modes de représentation graphique en utilisant des outils comme SketchUp, car ils doivent toujours appeler à un géomètre soit pour les produire ou pour les préciser et cette activité demande d'un réinvestissement de temps et un effort de la part de la maîtrise d'ouvrage. De plus, surtout pour les projets d'infrastructures, ils signalent que la visualisation 3D des données fournies par les concessionnaires de réseaux est souhaitable car ils ont des difficultés pour identifier leurs altimétries ou leurs profondeurs : « *Je pense que les réseaux en 3D ça peut être bien aussi, parce qu'on a des difficultés pour l'identifier on sait suivant en 2D pour ou ça pas, mais on ne sait pas quelle est leur profondeur, même celui qui la fait il ne sait pas. Si on peut avoir ces données en 3D on pourrait les intégrer dans nos projets et on saura tout suit la profondeur ou la hauteur* »³. D'autres aspects intéressants à visualiser en 3D sont le paysage, l'épannelage et les bâtiments.

Cependant, toutes les interviewés restent optimistes devant la visualisation 3D comme outil de communication et d'aide à la prise de décisions, surtout dans les réunions de concertation qui ont lieu en amont jusqu'à l'AVP car ils pensent qu'une image 3D est plus compréhensible et parlante pour le public. De plus, ils peuvent mieux se projeter que sur des plans (Figure 18) ; le maître d'ouvrage de la DREAL mentionne que sur les projets d'infrastructure routier la visualisation 3D est aussi intéressante de point de vue de la voiture c'est pour cela qu'ils ont commandé pour la première fois une maquette numérique du projet.



Figure 18 Image 3D sur SketchUp pour la communication avec les acteurs de l'étude urbaine Chauve élaboré par l'agence l'Atelier du Lieu⁸.

Toutefois, deux d'entre eux qui travaillent en phase programmation font savoir leurs préoccupations par rapport à la compréhension des représentations 3D : il y a un risque de faire croire à l'élu ou aux habitants que l'image montrée est la version définitive du projet qui peut encore changer dans cette première phase. « *Des fois, une image 3D peut avoir un effet contre-productive; par exemple, les élus peuvent demander de changer un bâtiment mais il sera jamais comme le bâtiment montré en l'image 3D, il peut faire un étage plus, un étage moins, il serait découpé, jaune, sculpté, etc.(...)* »⁴; de plus, un autre aspect à considérer est le fait que la 3D peut faciliter la discussion sur la forme de l'espace, mais à risque d'oublier le fond qui concerne des enjeux techniques, d'usage et des enjeux philosophiques qui sont aussi importants pour le projet. « *Moi j'ai la peur qu'avec la 3D on discute que de la forme mais pas du fond et que ça soit un angle de vue précis pour la mairie (...)* »⁵.

⁸ Plan guide Etude urbaine – CHAUVÉ: <http://www.chauve.fr/medias/2017/05/Etude-Urbaine-de-Chauve-.pdf>

5. CONCLUSIONS

Dans le cadre d'étude, les priorités des urbanistes sont l'intégration et l'accessibilité des informations urbaines qui sont déjà fournies par les SIG ou présentes au sein d'une base des données. Celles-ci sont primordiales durant les phases de diagnostic (programmation) et d'AVP (conception). Si on commence à réfléchir sur la construction d'un modèle des données urbaines, le principal défi de cette démarche est de bien choisir les informations les plus pertinentes ainsi que leurs propriétés. Nous proposons par conséquent la création d'un corpus de données urbaines en prenant en compte l'analyse critique des entretiens et l'état de l'art élaboré :

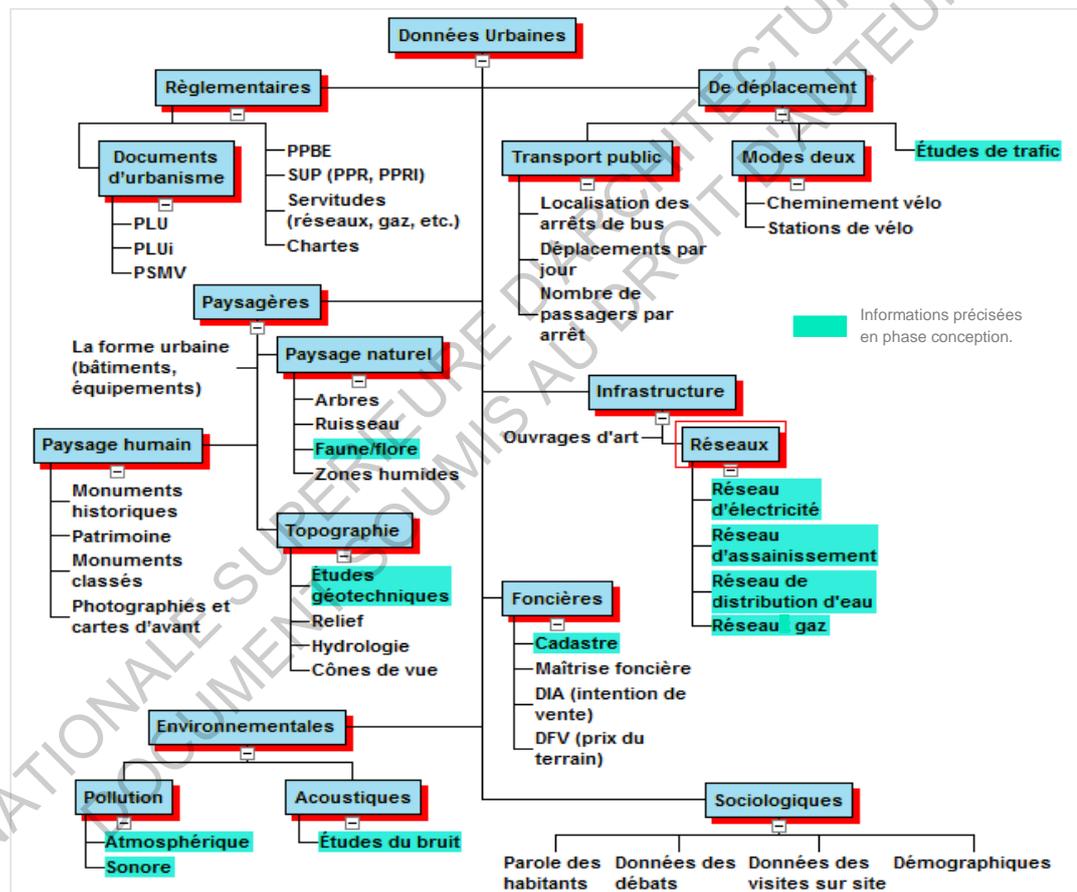


Figure 19 Constitution d'un corpus des données urbaines en fonction des besoins des urbanistes.

La précision des informations diverge en fonction des phases et étapes du projet. Celles acquises en phase programmation comme les études géotechniques, la pollution atmosphérique et sonore, les études de trafic, les études de bruit, les informations sur la faune et la flore, les réseaux et le cadastre seront par la suite actualisées en phase conception (voir Figure 19).

Tableau 7 Classification et propriétés des informations du corpus.

Propriétés des informations	Origine		Nature		Modélisation			Temporalité	
	Réelle	Simulée	Quantitative	Qualitative	Géométriques	Sémantiques	Thématiques	Spatiale	Temporelle
Liste des informations									
Règlementaires									
Documents d'urbanisme									
PLU (Plan local d'urbanisme)	x	x	x	x	x	x	x	X	X
PLUi (Plan local d'urbanisme intercommunal)	x	x	x	x	x	x	x	X	X
PSMV (Plan de sauvegarde et de mise en valeur)	x	x	x	x	x	x	x	X	X
SUP (Servitudes d'Utilités Publiques : PPR, PPRI)	x	x	x	x	x	x	x	X	X
Servitudes (réseaux, gaz, bornes incendies)	x	x	x	x	x	x	x	X	X
PPBE (Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement)	x	x	x	x	x	x	x	X	X
Chartes (recommandations)			x	x			x	x	x
De déplacement									
Études de trafic	x	x	x		x	x		X	1 an
Transport public									
Localisation des arrêts de bus	x				x	x		X	
Déplacements par jour		x	x				x		X
Nombre des passagers par arrêt		x	x				x		X
Modes deux									
Cheminement vélo	x				x	x		X	X
Stations de vélo			x		x	x		X	x
Environnementales									
Pollution									
Atmosphérique		x	x		x	x		X	1 an
Sonore		x	x		x	x		X	1 an
Acoustiques									
Études du bruit		x	x	x	3D	x		X	1 an
Paysagères									
La forme urbaine (bâtiments, équipements)	x		x		3D	x		x	x
Paysage humain									
Monuments historiques	x				x	x	x	X	
Patrimoine	x				x	x	x	X	
Monuments classés	x				x	x	x	X	
Photographies et cartes d'avant	x				x	x		X	
Paysage naturel									
Arbres	x				x	x	x	X	
Ruisseau	x				x	x	x	X	
Faune/flore	x				x	x	x	X	1 an
Zones humides	x				x	x	x	X	X
Topographie									
Études géotechniques	x		x		x	x	x	x	1 an
Relief	x		x		3D	x		X	10 ans
Hydrologie	x		x		x	x		X	X
Cônes de vue	x		x		3D	x		X	X
Infrastructure									
Ouvrages d'art	x		x		x	x		x	x
Réseaux									
Réseau d'électricité	x				3D	x		X	1 an
Réseau d'assainissement	x				3D	x		X	1 an
Réseau de distribution d'eau	x				3D	x		X	1 an
Réseau gaz	x				3D	x		X	1 an
Foncières									
Cadastre	x				x	x	x	X	1 an
Maîtrise foncière	x				x	x	x	X	1 an
DIA (intention de vente)	x						x		
DFV (prix du terrain)	x		x				x		
Sociologiques									
Parole des habitants	x			x			x		
Données des débats	x			x			x		
Données des visites sur site	x			x			x		
Démographiques (ex : population)	x		x	x			x		X

Au sein du troisième sous-titre de l'état de l'art, nous avons identifié des manières de classer les données. Sur cette base, nous décrivons dans le Tableau 7 les propriétés des informations du corpus et pour certaines, leurs variations temporelles et l'intérêt des urbanistes de les visualiser en 3D.

Les informations spatio-temporelles sont difficiles à modéliser et à traiter. Si on veut que l'utilisation de ces données aide aux urbanistes à gagner du temps lors de leur analyse, il faut donc se focaliser sur celles qui varient à court-terme. Nous avons identifié, grâce à l'analyse des entretiens, que ces informations s'actualisent chaque année ; parmi elles figurent : la pollution atmosphérique et acoustique, les études de trafic, les études de bruit, la flore et la faune, les études géotechniques, le cadastre, la maîtrise foncière et les réseaux. D'autres données spatio-temporelles variant à moyen et long terme existent ; dans ce contexte, d'autres études doivent être faites pour savoir leur variation exacte et la pertinence de celle-ci dans la gestion du projet ; c'est-à-dire, il faut évaluer l'intérêt de visualiser ces informations en fonction des besoins des urbanistes et de la durée du projet.

Une visualisation des données 3D pourrait être utile dans les cas d'informations paysagères, surtout en ce qui concerne le terrain ou relief, les cônes de vue et la forme urbaine ; les informations sur les réseaux sont aussi intéressantes en 3D pour les projets d'infrastructure et leur intégration pourrait aider à l'élaboration de maquettes numériques, cela en fonction de la complexité du projet et d'avantage dans la phase de conception spatiale. D'autre part, un affichage des données environnementales telles que les études de bruit est optimal en 2.5D ou 3D ; cela notamment pour des simulations environnementales fines à l'échelle de construction, de parcelle et du quartier. Ces analyses sont réalisées par des acteurs que nous n'avons pas pu interviewer : les bureaux d'études et les maîtres d'œuvre ; nous recommandons donc de consulter ces acteurs pour savoir s'il existe d'autres données qui ont besoin d'un affichage en 3D.

Nous répondons aussi de cette manière aux questions posées dans la problématique :

- Quels sont les principales limites et potentiels usages des données 3D pour l'urbanisme ?

Nous constatons qu'il existe cohérence entre le contenu des entretiens et ce qui est dit par les articles scientifiques récents. Par rapport aux facteurs qui influencent l'usage des données 3D, leur application est limitée par des aspects tels que l'acquisition, la qualité, l'intégration et l'interopérabilité des données, ainsi que la capacité d'investissement du projet. En termes d'usage, des trois scénarios proposés dans l'état de l'art (conception urbaine 3D, visualisation et aide à la prise de décision et simulations environnementales), nous affirmons que, dans le contexte actuel, il convient mieux ces deux derniers. La géo-visualisation aide d'avantage les urbanistes à gagner du temps durant la création de représentations 3D ; les simulations environnementales à l'échelle du quartier ou de construction peuvent bénéficier aussi de ces données, car elles ont besoin des simulations fines pour obtenir de meilleurs résultats.

- Comme intégrer l'usage des données 3D dans les phases complexes de la planification urbaine ?

Pour un futur usage des données 3D depuis la conception, il faut repenser la méthode du projet et sortir du cadre traditionnel. C'est-à-dire, renouveler les modes de travail et choisir des outils innovants plus accessibles, adaptés aux besoins du projet et des acteurs concernés ; cela implique aussi le fait de former l'équipe du projet et de fomentier le travail collaboratif. C'est la maîtrise d'ouvrage qui a le pouvoir de décider sur ces aspects, elle doit alors évaluer quelle est le rôle de chaque acteur en ce qui concerne la circulation des informations.

Dans ce contexte, nous proposons dans la Figure 20 une matrice sur les rôles des acteurs par rapport à la circulation des informations, et aussi leur intervention à chaque étape durant les phases de programmation et de conception spatiale. Il convient en effet de souligner que les méthodes des projets d'aménagement varient en fonction de l'organisation des acteurs, des échelles et de leurs objectifs ; cette proposition prend en compte les processus les plus récurrentes.

ÉTAPES		ACTEURS								
		Groupe de pilotage	AMO programmation	MOA (Études, communes, aménageurs)	MOE (Maîtrise d'œuvre)	Entreprises travaux	BE (Bureau d'études)	Citoyens, habitants		
PROGRAMMATION	DIAGNOSTIC (pré-programmation, études préalables, faisabilité, études d'opportunité)	I,S	A,P,I,T,S	A,F,V,S			P,F	F	F	A Acquiert des informations en brute
	SCÉNARIOS D'AMENAGEMENT (atouts et contraintes, plusieurs scénarios)	I,V	P,T,S	V,S				V	V	P Produit des informations et les précise
	* Concertation Préalable	V	V,S	V,S				F,V	V	F Fournit des études/informations
	VISION STRATEGIQUE (plan guide, documents réglementaires, formalisation de la proposition chois)	V	P,V,S	V,S				V	V	I Intègre des informations
CONCEPTION	AVP (Avant-Projet)	I,V,S		A,F,V,S	A,P,I,T,S		P,F		V	T Traite des informations
	* Concertation (enquête publique, mise à disposition du public)	I,V		A,V,S	V			F,V	F,V	V Visualise les informations après leurs traitement
	PRO (Projet)	I,V		V,S	P,T,S			V	V	S Conserve les informations en brute
	* Consultation des entreprises travaux	V		V,S	P,V,S	V		V	V	
REALISATION										

Figure 20 Matrice de rôles des acteurs par rapport à la circulation des informations à chaque étape du projet.

Nous avons identifié sept principaux rôles des acteurs par rapport à la circulation des informations :

- Acquérir des informations : l'acteur cherche et recueille les informations dans les diverses sources (institutions publiques et privés, sur internet, les SIG, les bureaux d'études, etc.).
- Produire et préciser des informations : l'acteur fait des études pour produire des données inexistantes, complète et précise les informations.
- Fournir des informations : Si l'acteur possède ou produise des informations importantes pour le projet, quel que soit leur origine, il doit les fournir à quelqu'un d'autre afin de concevoir le projet.
- Intégrer des informations : l'acteur intègre et ordonne sur une base commune les informations en brute qui proviennent des différentes sources ; c'est-à-dire, il les synthétise.

- Traiter les informations : Les données brutes doivent être exploitées, analysées et traitées pour la production d'autres informations plus compréhensibles et adaptées aux besoins du projet ; dans ce rôle, l'acteur produise aussi des représentations graphiques (plans, coupes, tableaux, diagrammes, etc.) comme résultat de son analyse.
- Visualiser les informations traitées : Les représentations graphiques sont visualisées par cet acteur, son rôle est d'évaluer les résultats obtenus afin de supporter ou de réaliser le processus de prise de décisions.
- Stocker les informations en brute : Cet acteur conserve les informations traitées dans son ordinateur ou d'autres lieux de stockage ; ces études et ces informations peuvent être utiles pour la phase suivante ou pour la conception des futurs projets.

Un même acteur peut avoir divers rôles et participer en différents étapes tout au long du projet ; par conséquent, les outils qu'il utilise doivent être adaptés aux tâches qu'il réalise. Par exemple, l'outil pour le traitement des données ne serait pas le même que celui choisi pour la visualisation ; celui-ci doit aussi prendre en compte l'aspect esthétique et permettre à l'utilisateur de visualiser les résultats de manière simple et compréhensible.

- Comme choisir les outils numériques en fonction des usages des données 3D ?

Le changement des outils traditionnels pour ceux qui permettent l'usage des données 3D implique une transition qui n'est pas simple à mener. Avant de mettre en œuvre des outils numériques complexes, il faut savoir si le projet a besoin de cette démarche, s'il a suffisamment de financement, et aussi si les professionnels de l'aménagement urbain sont prêts à travailler d'une façon différente. La perception des derniers usagers doit être prise en compte pour la géo-visualisation des données urbaines. De plus, les urbanistes ont besoin des outils que les permettent de créer des modes de représentation qui soient compréhensibles par les habitants et les élus ; il faut donc prendre en compte que l'aspect esthétique du logiciel est importante pour leur utilisation. Le choix d'outils doit être évalué par la maîtrise d'ouvrage en fonction des besoins du projet et aussi par la prise en compte des facteurs mentionnés dans la première question. Dans ce sens, l'amélioration et l'intégration des outils BIM et SIG, qui sont de plus en plus utilisées à l'échelle urbaine, offre de grands avantages.

Les données de la ville grandissent en nombre et en hétérogénéité ; ainsi, à l'avenir, les urbanistes vont être obligés à renouveler leurs outils pour accueillir et exploiter des données 3D qui proviennent des projets immobiliers, notamment modélisés en BIM. Dans ce sens, quand les conditions sont favorables pour une conception 3D, probablement les avantages de l'utilisation de ces données seront largement reconnus, cela exige l'approfondissement et l'élargissement des études expérimentales.

Les urbanistes ne s'opposent pas à l'utilisation des nouvelles technologies et des outils numériques, au contraire, ils reconnaissent les avantages que cela apporte. Cependant, ils ont besoin aussi d'utiliser des objets matériels, d'aller sur le terrain et obtenir des données sensibles qu'ils considèrent vraiment importantes pour le succès du projet. L'outil le plus adaptée à leur forme de travail pour la conception devrait leur permettre d'être en contact direct avec l'espace urbain ou leur représentation. Par exemple, avoir une maquette qui les permette d'interagir avec les autres au même temps sans passer par un ordinateur.

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

6. BIBLIOGRAPHIE :

- Al-Douri, F. (2017). Computational and Modeling Tools How effectively are Urban Designers and Planners using them Across the Design Development Process? *ShoCK! - Sharing Computational Knowledge! - Proceedings of the 35th ECAADe Conference; Sapienza University of Rome, Rome, Italy, 1*, 409–418.
- Al-Douri, F. A. (2010). The impact of 3D modeling function usage on the design content of urban design plans in us cities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(1), 75–98. <https://doi.org/10.1068/b35055>
- Arab, N. (2004). L'activité de projet dans l'aménagement urbain. Processus d'élaboration et modes de pilotage. Les cas de la ligne B du tramway strasbourgeois et d'Odysseum à Montpellier. *Recherche*, 508. Retrieved from http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/08/65/35/PDF/these_nadia_arab.pdf
- Arab, N. (2007). L'Activité de projet et aménagement urbain : les sciences de gestion à l'épreuve de l'urbanisme. *Management & Avenir*, 12(2), 147. <https://doi.org/10.3917/mav.012.0147>
- Arnaldi, B., Guitton, P., & Moreau, G. (2018). *Virtual Reality and Augmented Reality. Myths and Realities*. London; Hoboken: ISTE Ltd.
- Bach, B., Dachsel, R., Carpendale, S., Dwyer, T., Collins, C., & Lee, B. (2016). Immersive Analytics. In *Proceedings of the 2016 ACM on Interactive Surfaces and Spaces - ISS '16* (pp. 529–533). <https://doi.org/10.1145/2992154.2996365>
- Bassetti, P., Martin, J.-Y., & Vivier, P. (2017). *Réaliser une ZAC et autres opérations d'aménagement*. (S. Phéulpin, Ed.). Lonrai: Groupe Moniteur.
- Biljecki, F., Heuvelink, G. B. M., Ledoux, H., & Stoter, J. (n.d.). Propagation of positional error in 3D GIS: estimation of the solar irradiation of building roofs. <https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1073292>
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842–2889. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
- Billger, M., Thuvander, L., & Wästberg, B. S. (2016). In search of visualization challenges: The development and implementation of visualization tools for supporting dialogue in urban planning processes. *Environment and Planning B: Planning and Design*, (July), 1–24. <https://doi.org/10.1177/0265813516657341>
- Bonaccorsi, J., Jacquino, F., & Vogt, M. (2018). Regard pluridisciplinaire sur les usages sociaux de géovisualisations 3D pour la sensibilisation au risque d'inondation. *Revue Internationale de Géomatique*, 28(1), 69–94. <https://doi.org/10.3166/ig.2017.00038>
- Brasebin, M. (2014). *Les données géographiques 3D pour simuler l'impact de la réglementation urbaine sur la morphologie du bâti*. Université Paris-Est. Retrieved from <http://recherche.ign.fr/labos/cogit/cv.php?nom=Brasebin>
- Brindel, J., Siret, D., & Signorelli, V. (2014). *La question des ambiances en aménagement urbain à travers les outils numériques mobiles*.
- Brisis, S. (2013). *Création d'un corpus structuré des données Urbaines et Architecturales pour une application de visualisation en 3D*. Ecole Centrale de

Nantes; l'Ecole Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines de Nantes; l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes; l'Université de Nantes.

Brink, A. van den, Lammeren, R. van, Velde, R. van de, & Däne, S. (2007). *Imaging the Future: Geo-visualisation for Participatory Spatial Planning in Europe* (Wageningen). Netherlands.

Brodeur, J. (2012). Geosemantic Interoperability and the Geospatial Semantic Web. In *Springer Handbook of Geographic Information* (pp. 589–609). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72680-7>

Bryman, A. (2012). Structured interviewing. In *Social Research Methods* (Fourth ed., pp. 208–230). New York: Oxford University Press Inc. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Yousef_Shahwan4/post/What_is_the_best_and_the_most_recent_book_in_medical_research_methodology/attachment/59d6525179197b80779aa90f/AS%3A511717807321088%401499014441133/download/Social+Research+Methods.pdf

BuildingSMART France. (n.d.). Mediaconstruct; Comprendre le BIM; L'open BIM; IFC industry foundation classes. Retrieved April 30, 2018, from <http://www.mediaconstruct.fr/comprendre-le-bim/lopenbim/ifc-industry-foundation-classes>

Cartwright, W., Gartner, G., Meng, L., & Peterson, M. P. (2011). *Initial investigations for modeling interior Utilities within 3D Geo Context: Transforming IFC-interior utility to CityGML/UtilityNetworkADE*. Retrieved from http://bimserver.org/wp-content/uploads/sites/6/2010/11/Hijazi-Berlo-3Dgeoinfo_IFC_CityGML.pdf

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. (2014). *BIM&Maquette Numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. (C. S. et T. du B. E. (CSTB), Ed.) (2ème). Champs sur Marne.

Chen, M., Ebert, D., Hagen, H., Laramée, R. S., van Liere, R., Ma, K.-L., ... Silver, D. (2009). Data, Information and Knowledge in Visualization. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 29(1), 12–19. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1109/MCG.2009.6>

Chen, Z., Wang, Y., Sun, T., Gao, X., Chen, W., Pan, Z., ... Wu, Y. (2017). Exploring the Design Space of Immersive Urban Analytics. *Visual Informatics*, 1(2), 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2017.11.002>

Chotteau, P., Zetlaoui-Léger, J. (ENSA P., & Meunier, F. (2015). *Maîtrise d'ouvrage de l'opération d'aménagement urbain*. Paris. Retrieved from <http://www.miqcp.gouv.fr/images/Guides/documentPDF/GuideProjetUrbainWeb.pdf>

Dartigues, C. (2001). *État de l'art sur l'Ingénierie Concourante*. Université Claude.

Dubel, S., Rohlig, M., Schumann, H., & Trapp, M. (2014). 2D and 3D Presentation of Spatial Data: A Systematic Review. *3DVis@IEEEVIS2014: Does 3D Really Make Sense for Data Visualization?* <https://doi.org/10.1109/3DVis.2014.7160094>

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2nd Edition*. United States of America.

- Eleb-Harlé, N. (2000). *Conception et coordination des projets urbains*. (M.-O. Terrenoire, Ed.). Paris: Editions Recherches.
- Erving, a, Rönholm, P., & Nuikka, M. (2009). Data integration from different sources to create 3d virtual model. *3D-Arch'2009*. Retrieved from http://www.commission5.isprs.org/3darch09/pdf/erving_et al.pdf
- Ferreira, N., Lage, M., Doraiswamy, H., Vo, H., Wilson, L., Werner, H., ... Silva, C. (2015). Urbane: A 3D framework to support data driven decision making in urban development. *2015 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST)*, 97–104. <https://doi.org/10.1109/VAST.2015.7347636>
- Frébault, J. (2005). *La maîtrise d'ouvrage urbaine*. (O. Lenne, Frédéric; Barbet-Massin, Ed.). Paris: Le Moniteur.
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33(6–7), 897–920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>
- Gil, J. (2015). City Information Modelling (CIM). In *Towards an extended network-based description for BIM and Smart Cities!* London.
- Gorioux, C. (2013). *Les rôles des différents acteurs sur la pérennité d ' un projet urbain , lors de sa mise en forme . Étude de cas du projet du Jardin Public de la ville de Saintes To cite this version : HAL Id : dumas-00873765*. Agrocampus Ouest.
- Gröger, G., & Plümer, L. (2012). CityGML - Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.04.004>
- Halbout, H. (2016). SIG , modélisation 3D et BIM: une complémentarité. *Géomatique-Expert*, 108(1), 30–32. Retrieved from http://hc-sig.fr/WP/wp-content/uploads/2013/02/H_Halbout_SIG__BIM_12_BIM__ethique.pdf
- Hamilton, A., Wang, H., Tanyer, A. M., Arayici, Y., Zhang, X., & Song, Y. (2005). Urban information model for city planning. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 10(March), 55–67.
- Hijazi, I. ., Ehlers, M. ., & Zlatanova, S. . (2010). Bim for geo-analysis (BIM4GEOA): Set up of 3D information system with open source software and open specification (OS). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 38(4 PART W15), 45–49. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84881587832&partnerID=40&md5=7d82ffc4d41050675969f84ecc3298ef>
- Hillier, B. (2012). The city as a socio-technical system: A spatial reformulation in the light of the levels problem and the parallel problem. *Communications in Computer and Information Science*, 242 COMMUN, 24–48. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29758-8_3
- ISO/TC-211. (2002). ISO 19113:2002 Geographic information — Quality principles. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/26018.html>
- Julin, A., Jaalama, K., Virtanen, J.-P., Pouke, M., Ylipulli, J., Vaaja, M., ... Hyyppä, H. (2018). Characterizing 3D City Modeling Projects: Towards a Harmonized Interoperable System. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(2),

55. <https://doi.org/10.3390/ijgi7020055>

Kurakula, V. (2007). A GIS-Based Approach for 3D Noise Modelling Using 3D City Models. *Earth*. Retrieved from [https://www.gem-msc.org/AcademicOutput/Kurakula Vinay.pdf](https://www.gem-msc.org/AcademicOutput/Kurakula%20Vinay.pdf)

Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J., Li, X., & Liu, R. (2017). A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2), 53. <https://doi.org/10.3390/ijgi6020053>

Martouzet, D. (2018). *Le projet fait les acteurs: urbanisme, complexité, incertitude*. Tours: Presses universitaire François Rabelais.

Mattias, R. (2013). *Thesis for the degree of doctor of philosophy: Development and Implementations of Virtual Reality for Decision-making in Urban Planning and Building Design*. Chalmers University Technology, Gothenburg.

Mignard, C. (2012). *Modélisation, Échange et Visualisation d'Objets 3D du Bâtiment et d'Objets Urbains Géoréférencés; Application aux IFC pour la Gestion Technique de Patrimoine Immobilier et Urbain*. Université de Bourgogne.

Munzer, T. (2014). *Visualization Analysis and Design*. *Visualization Analysis and Design*. AK Peters.

Rafiee, A., Dias, E., Fruijt, S., & Scholten, H. (2014). From BIM to Geo-analysis: View Coverage and Shadow Analysis by BIM/GIS Integration. *Procedia Environmental Sciences*, 22(November 2015), 397–402. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.11.037>

Raza, A. (2001). *Object-Oriented Temporal GIS for Urban Applications*. *ITC Dissertation* 79. Retrieved from https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/Papers/phd_2001/ale_raza.pdf

Rook, M. (2016). *Automatic thematic and semantic classification of 3D city models*. Delft University of Technology.

Ross, L. (2010). *Virtual 3D City Models in Urban Land Management*. <https://doi.org/10.14279/depositonce-2744>

Sfez, L. (2004). *La décision*. PUF.

Stadler, A., & Kolbe, T. H. (2007). Spatio-semantic coherence in the integration of 3D city models. *Proceedings of the 5th International ISPRS Symposium on Spatial Data Quality ISSDQ 2007 in Enschede, The Netherlands, 13-15 June 2007*, (June), 13–15. Retrieved from http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/2-C43/Session1/paper_Stadler.pdf

Thompson, E. M., Greenhalgh, P., Muldoon-Smith, K., Charlton, J., & Dolník, M. (2016). Planners in the Future City: Using City Information Modelling to Support Planners as Market Actors. *Urban Planning*, 1(1), 79. <https://doi.org/10.17645/up.v1i1.556>

Tolmer, C.-E., Castaing, C., Morand, D., & Diab, Y. (2014). Structuration des informations pour les projets d'infrastructures: proposition de niveaux complémentaires aux Level Of Detail et Level Of Development. *SCAN'14, Séminaire de Conception Architecturale Numérique*, (May 2016). [https://doi.org/ISBN : 9782814301719](https://doi.org/ISBN:9782814301719)

Tolmer, C. (2016). *Contribution à la définition d'un modèle d'ingénierie concourante pour la mise en oeuvre des projets d'infrastructures linéaires urbaines : prise en compte des interactions entre enjeux, acteurs, échelles et objets*. Université Paris-Est.

Toussaint, J.-Y. (2003). *Projets et usages urbains. Fabriquer et utiliser les dispositifs techniques et spatiaux de l'urbain*. Université Lumière - Lyon II. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00473722>

Yepez-Salmon, G. (2011). *Construction d'un outil d'évaluation environnementale des écoquartiers: vers une méthode systémique de mise en oeuvre de la ville*. Thèse. Université de Bordeaux. Retrieved from [http://www.nobatek.com/downloads/Etudes publiques/THESE_GYS/ANNEXE Grace Yepez 2011.pdf](http://www.nobatek.com/downloads/Etudes_publicques/THESE_GYS/ANNEXE_Grace_Yepez_2011.pdf)

Zheng, Y., Wu, W., Chen, Y., Qu, H., & Ni, L. M. (2016). Visual Analytics in Urban Computing: An Overview. *IEEE Transactions on Big Data*, 2(3), 276–296. <https://doi.org/10.1109/TBDATA.2016.2586447>

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



Nom:
Poste:

Entreprise:
Lieu et date :

Présentation du projet et de l'entretien :

Dans le cadre du projet de recherche "Étude d'usages et visualisation des données urbaines 3D", au sein du CRENAU de l'ENSA Nantes, qui concerne l'affichage et les usages des données urbaines (2D ou 3D) de manière efficiente pendant la programmation ou la conception urbaine; nous souhaitons de réaliser des entretiens avec des professionnels de l'aménagement urbain (AMO, MOA, MOE, bureau d'étude) qui travaillent sur Nantes.

La durée de cet entretien est d'une heure environ ; les questions sont relatives au leur méthode de travail, leurs besoins par rapport à l'obtention des informations de la ville et les outils qu'ils utilisent pour produire et communiquer leurs modes de représentation graphique (plans, images, schémas, etc.). A partir de la question 2, il est nécessaire faire remplir le tableau ci-joint en suivant les instructions de ce guide.

Présentation de l'enquête.

<p>Question principale</p> <p>1. Pourriez-vous raconter votre parcours professionnel? (Formation, études, années d'expertise).</p> <p>Objectif: Faire connaissance de l'enquêté et le mettre en confiance pour introduire les questions suivantes.</p>	<p>Autres questions à poser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Depuis combien de temps travaillez-vous dans le domaine de l'urbanisme ? • Au sein de l'entreprise, quelle est votre fonction et votre rôle ? • Sur quels projets êtes-vous impliqué actuellement ? <p>Relances possibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Par rapport à l'utilisation des outils numériques (logiciels). Quels logiciels utilisez-vous ? quelle est votre niveau d'expertise ? Avez-vous reçu une/des formation(s) aux outils numériques pendant vos études ou votre vie professionnelle ? • Pour vous, est-ce plus confortable travailler avec des outils numériques ou en utilisant des objets matériels (plans, papier, etc.) ? Pourquoi ?
--	--



Circulation et usages des informations

<p>Question principale</p> <p>* Faire remplir panneau</p> <p>2. Quelle sont les phases du projet urbain dont vous participez? (Faire remplir colonne 1: étapes).</p> <p>Objectif: Connaître les phases du projet auxquelles l'enquêteur participe, ses activités et son rôle pendant chaque étape.</p>	<p>Autres questions à poser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A partir de l'exemple d'un projet récent, pourriez-vous me décrire la manière dont vous travaillez ? Quelles étapes ? • Quelle sont les activités les plus importantes du projet à chaque étape ? • Quels acteurs interviennent ? <p>Relances possibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans quelles étapes la prise de décision peut déterminer l'avenir du projet ? • Quels sont les moments où la communication entre parties prenantes a une grande importance ?
<p>* Pour les questions 3 et 4, Remplir la ligne du tableau pour chaque étape.</p> <p>3. Dans ces étapes, quelle sont les informations dont vous avez en besoin ? (Faire remplir colonne 3: Nom et thème (ex. pollution, niveau de PM10)).</p> <p>Objectif : Connaître en détail la circulation de l'information et leurs usages à chaque étape du projet.</p>	<p>Autres questions à poser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Où trouvez-vous ces types d'informations ? Qui les fournit ? (Faire remplir colonne 2: D'où ils viennent? Qui les produisent?). • Dans quel type de document avez-vous cette information ? (Faire remplir colonne 4: Type de document (texte, carte, photo, spatial, temporel, etc.)). • Quelle sont leurs propriétés ? (Faire remplir colonne 5: Propriétés (spatial, temporel, personnelles, réelle/simulées, etc.)). • Quels sont les objectifs d'utilisation (usages) de ces informations, comme les intégrez-vous dans ces étapes ? (Simulations environnementales, concertation, analyses) (Faire remplir colonne 6: Objectif d'utilisation). • Après leur utilisation, où vont ces informations ? Qui en a besoin ? (Faire remplir colonne 10: où ils vont après leur utilisation? à qui ?). <p>Relances possibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avez-vous des difficultés pour les trouver ou intégrer dans vos projets ? (Open data, sémantique, géométrie, etc.). • Il y a-t-il des informations qui ne sont pas facilement accessibles ? Quelles informations ?



Outils et techniques du projet, visualisation des données

Question principale	Autres questions à poser:
<p>4. Quelle sont les outils ou techniques des projets urbains auxquels vous participez? (Faire remplir colonne 7: Techniques/outils du processus (ex: enquêtés, plan de paysage)).</p> <p>Objectif: Connaître les outils et les modes de représentation graphique utilisés par l'interviewé à chaque étape du projet.</p>	<p>Autres questions à poser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quelle sont les modes de représentation ou documents que vous devez présenter ? Sur quel format sont-ils construits ? En utilisant de quel outil ? (Faire remplir colonne 8: Mode de représentation). • Qui doit comprendre ces modes de représentation ? Qui les utilise après ? (Faire remplir colonne 9: Acteurs concernés). • Avez-vous des difficultés pour communiquer ces modes de représentation ? • Quelles sont leurs limites et leurs potentiels d'usage ? <p>Relances possibles:</p> <p>Si la personne utilise plus des outils matériels:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pourquoi vous n'utilisez pas des outils numériques ? quels sont vos limites ? <p>Si la personne n'utilise pas encore des outils en 3D:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans quelles situations croyez-vous qu'une visualisation 3D de ces informations pourrait être utile?

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ANNEXE II

1 Étapes	2 D'où ils viennent? Qui les produisent?	3 Description des données			6 Usages et représentations				10 où ils vont après leur utilisation? À qui?
		4 Nom et thème (ex. pollution, niveau de PM10)	4 Type de document (texte, carte, photo,	5 Propriétés (spatial, temporel, personnelles,	6 Objectif d'utilisation	7 Techniques/outils du processus	8 Mode de représentation	9 Acteurs concernés	

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