



HAL
open science

CIM et Smart City

Maryne Fosse

► **To cite this version:**

| Maryne Fosse. CIM et Smart City. Sciences de l'environnement. 2018. dumas-02095236

HAL Id: dumas-02095236

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02095236>

Submitted on 10 Apr 2019

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.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLÔME NATIONAL DE MASTER
« Sciences, Technologies, Santé »

Mention « Identification, Aménagement et gestion du Foncier »

par

Maryne FOSSE

CIM et Smart City

Soutenu le 06 Juillet 2018

JURY

PRESIDENT : M. Laurent MOREL

MEMBRES :	Mme Elisabeth BOTREL	Professeur référent
	M. Christophe CHARLET	Professeur référent
	M. Temesgen GOSSA	Maitre de stage
	M. Jean-Michel FOLLIN	Membre du jury

Remerciements

Je souhaite adresser mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et leur soutien et ainsi contribués au bon déroulement de mon travail de fin d'études, pour en faire une expérience professionnelle et de recherches enrichissantes.

Mes premiers remerciements s'adressent à Monsieur Matthieu Ferrua, directeur général d'SXD, pour m'avoir accueillie au sein de son entreprise.

Je souhaite adresser toute ma gratitude à mes tuteurs pédagogiques, Madame Élisabeth Botrel et Monsieur Christophe Charlet, pour leur apport de connaissances, leurs disponibilités et leurs conseils judicieux qui ont permis d'orienter mes réflexions concernant ce sujet.

Pour m'avoir fait participer à divers projets menés en BIM, je remercie l'ensemble des chefs de projet d'SXD.

De manière générale, je remercie l'ensemble des employés qui m'ont accueilli avec attention durant ce stage de fin d'études, pour leurs disponibilités, leurs conseils, leurs explications et pour m'avoir confié diverses missions.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille qui m'a accompagné, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de ce travail de fin d'études.

Liste des abréviations

- AMO** : Assistance à la maîtrise d’ouvrage
- BBC** : Bâtiment basse consommation
- BEPOS** : Bâtiment à énergie positive
- BIM** : Building Information Model
- BTP** : Bâtiment et Travaux Publics
- CADA** : Commission d’accès aux documents administratifs
- CAO** : Conception Assistée par Ordinateur
- CCAG** : Cahier des clauses administratives générales
- CDE** : Common Data Environment
- CIM** : City Information Model
- CPI** : Code de la propriété intellectuelle
- CSTB** : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
- DAO** : Dessin Assisté par Ordinateur
- DCE** : Dossier de consultation des entreprises
- EPA** : Etablissement public d’aménagement
- HQE** : Haute qualité environnementale
- IFC** : Industry Foundation Classes
- LOD** : Lod of detail
- MOA** : Maître d’ouvrage
- MOD** : Maîtrise d’ouvrage déléguée
- MOE** : Maître d’œuvre
- MNB** : Maquette Numérique de Bâtiment
- MNT** : Modèle numérique de terrain
- MNU** : Maquette Numérique Urbain
- (N)TIC** : Nouvelles Technologies de l’information et de la communication
- OGC** : Open géospatial consortium
- ONU** : Organisation des Nations Unies
- PLU** : Plan local d’urbanisme
- PTNB** : Plan transition numérique dans le bâtiment
- R2S** : Ready 2 Services
- SBA** : Smart Building Alliance
- SETIS** : Strategic Energy Technologies Information System

SIG : Système d'Information Géographique

SDTAN : Schéma Directeur Territorial d'Aménagement Numérique

VAO : Ville Assistée par Ordinateur

VRD : Voiries et réseaux divers

UE : Union Européenne

ZAC : Zone d'aménagement concertée

Glossaire

Clausier : Le clausier est un recueil de clauses sur lesquelles on peut s'appuyer pour rédiger un contrat. Cela permet d'éviter les oublis ou les imprécisions des clauses.

Entité adjudicatrice : « Les entités adjudicatrices sont des pouvoirs adjudicateurs exerçant une des activités d'opérateur de réseaux [...]»¹

Pouvoir adjudicateur : « tous les acheteurs publics ou privés, soumis aux règles de l'ordonnance n° 2015-899 du 23 juillet 2015 relative aux marchés publics² »

¹ <https://www.economie.gouv.fr/daj/pouvoirs-adjudicateurs-et-entites-adjudicatrices-2016>

² <https://www.economie.gouv.fr/daj/pouvoirs-adjudicateurs-et-entites-adjudicatrices-2016>

Table des matières

Remerciements	
Liste des abréviations	
Glossaire	
Table des matières	
Introduction	1
I DU BIM AU CIM : VERS UNE METHODE SEMBLABLE, MAIS A UNE ECHELLE DIFFERENTE.....	3
I.1 LE BIM, VERS UNE APPROCHE EXTENSIVE	3
I.1.1 Le BIM : Processus de travail « révolutionnaire » du BTP.....	5
I.1.2 La genèse du BIM : Constats et perspectives.....	8
I.1.2.1 Une plus grande valorisation de la profession de géomètre-expert à travers le CIM ..	8
I.1.2.2 L'expansion du BIM, une nécessité	9
I.2 LE DEVELOPPEMENT DU CIM : UN ATOUT POUR LA MISE EN PLACE DES SMART-CITIES	12
I.2.1 Le CIM : Un modèle numérique à grande échelle	13
I.2.2 La Smart-City : une nouvelle vision urbaine	15
I.2.3 Vers une complémentarité entre le CIM et les six piliers de la smart-city.....	17
I.2.3.1 La collaboration, un élément clé et commun.....	17
I.2.3.2 Le citoyen, un acteur capital.....	17
I.2.3.3 Une diminution économique conséquente.....	18
I.2.3.4 La mobilité intelligente	18
I.2.3.5 Un environnement durable et sécurisé pour demain.....	18
I.3 CONVERGENCE DE DEUX OUTILS, COOPERATION INDISPENSABLE DES NOUVEAUX ACTEURS.....	20
I.3.1 Davantage d'acteurs nécessaires pour réaliser un CIM	20
I.3.2 Approche critique : la contractualisation d'un projet réalisé en CIM	24
I.3.3 Transversalité : responsabilités et engagements des acteurs d'un projet CIM.....	28
II CIM ET SMART CITY, COMPLEMENTARITE DE DEUX OUTILS POUR UNE FINALITE COMMUNE.....	33
II.1 LA SMART-CITY : UN PUIT DE RESSOURCES INTERESSANT	33
II.1.1 Un support de communication et d'aide à la décision remarquable.....	33
II.1.2 Un outil d'études multiples et complexes	40
II.1.3 Un avatar pour une planification et une gestion meilleure du chantier ?	43
II.2 LE CIM, UN SUPPORT D'ALIMENTATION DE DONNEES POUR LA SMART-CITY ?	44
II.2.1 Étude de cas : Ready 2 services (R2S), future label du smart-building	44
II.2.2 Le CIM : Quels apports pour la smart city.....	47
II.2.3 Proposition d'un cahier des charges.....	48
Conclusion	50
Bibliographie	51
Table des annexes	57
Annexe 1 Présentation du projet CIM de Bordeaux Belvédère.....	58
Annexe 2 Les domaines d'actions des six piliers de la Smart City selon Cohen	59

Annexe 3 Procédure de publicité et de mise en concurrence selon les critères définis par le décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics	60
Annexe 4 Les différentes zones du projet de vanne	61
Liste des figures.....	62

Introduction

Par définition, l'aménagement du territoire vise à une répartition harmonieuse des populations, des activités et des réseaux dans l'espace³. Aujourd'hui, cette répartition est bouleversée par l'accroissement des populations en ville. D'après une étude du service des populations de département des affaires économiques et sociales de l'Organisation des Nations Unies (ONU), « *aujourd'hui, 54 % de la population mondiale vit dans les zones urbaines, une proportion qui devrait passer à 66 % en 2050* »⁴. Source d'enjeux politico-environnementaux et de défis sociétaux de plus en plus significatifs, le traitement et la gestion de l'urbanisation massive sont l'une des préoccupations majeures du XXI^e siècle. La révolution numérique, porteuse d'innovations, aide les villes à répondre à ces enjeux.

Élément déclencheur de la relance du BTP, le building information modeling (BIM) est en plein essor. Il s'agit d'une représentation géométrique généralement en trois dimensions associées à l'élaboration d'une base de données. Ce modèle numérique est mis en place par une méthode collaborative permettant de réduire les coûts et les délais. Aujourd'hui, nombreux sont les chantiers réalisés en BIM. Or modéliser un bâtiment sans l'environnement qui l'entoure rend difficile la compréhension de son insertion dans le site. L'étendue des domaines d'application du BIM à plus grande échelle (quartier, ville) apparaît ainsi comme une nécessité et se fait progressivement en induisant un changement de sigle. Le BIM devient le CIM : City Information Model/ Modeling/ Management. Le CIM est « *un modèle de données centralisant et harmonisant des données géographiques (géolocalisées), géométriques (2D/3D), temporelles (4D), sémantiques (5D), voir financière (6D et au-delà), sur plusieurs niveaux de détail. Elle peut être étendue, exploitée puis enrichie par des moteurs de simulation numérique* »⁵.

Dans le but de réduire l'impact des populations sur le métabolisme urbain, les acteurs publics vont allier les progrès technologiques (BIM, CIM, Open Data) à la planification urbaine pour mettre en place un nouvel élan urbain : la smart city. Cette expression « smart-city » ou « ville intelligente » en langue française est maintenant utilisée depuis plus de dix ans, par chacun d'entre nous et à échelle internationale. D'après Antoine Picon⁶, ingénieur, architecte et docteur en histoire, un écart vers la science-fiction permettrait de comprendre cette nouvelle démarche. En effet, les romanciers et les réalisateurs de par leur imagination sont les premiers à avoir eu cette idée. Mettre en place une smart city ne veut pas dire que l'on va assister la ville à l'aide d'un ordinateur (VAO) mais plutôt que l'on va l'organiser, la piloter, la gérer à l'aide d'outils tels que les modèles numériques 3D, les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC), la domotique, les capteurs et

³ (Desjardins, 2017, p. 27)

⁴ (ONU, 2014)

⁵ (Nagy, Celnik, & Lebègue, 2015)

⁶ (Picon, 2013)

le numérique... Le processus BIM et la Smart city semblent répondre à des finalités communes en matière de gouvernance et d'économie. L'étendue du modèle numérique 3D BIM à l'échelle du quartier (CIM) semble être en adéquation avec la démarche smart city.

Dès lors se posent des questions concernant l'interaction du CIM et de la Smart City. Ainsi, comment est-il possible d'appréhender techniquement et contractuellement le modèle numérique CIM ? Les données urbaines de la smart-city sont-elles un prérequis à l'élaboration d'un projet d'aménagement CIM ? Enfin, le CIM peut-il prétendre être un outil pour la Smart City ?

Pour essayer de répondre à ces questions, l'étude se déroulera selon deux parties. La première partie de ce mémoire sera consacrée à l'éventuelle complémentarité entre le CIM et la Smart City. Il sera étudié en quoi l'étendue du BIM est un atout pour les smart-city et en quoi cette convergence demande de la rigueur en terme de coopération et de contractualisation ? La seconde partie analysera l'interaction de ces deux procédés et cela dans les deux sens.

I Du BIM au CIM : Vers une méthode semblable, mais à une échelle différente

Dans cette première partie, nous commencerons d'une part à définir le BIM puis d'autre part de dresser un bilan des différentes approches qui ont été réalisées sur le BIM jusqu'à ce jour. Le bilan convergeant vers une expansion du BIM (building information model) nous entrainera d'autre part à définir et présenter le CIM (city information model) en seconde partie. Enfin, l'étendue de la méthode de travail à l'échelle d'un quartier nous amène à réfléchir à un éventuel rapport avec la smart-city.

I.1 Le BIM, vers une approche extensive

Il convient de présenter les méthodes de travail aboutissant au BIM, amenant à nous questionner sur l'approche extensive du BIM. Ce questionnement nous permet de dégager deux points pertinents à travers la valorisation de la profession de géomètre expert et la convergence entre le SIG et le BIM. Cet état de l'art permet de poser les bases du sujet traité tout au long de ce mémoire.

La méthode de travail qui demeure depuis le début du XXI^e siècle continue-t-elle d'évoluer ? Aujourd'hui, le BIM est en plein essor et bien que désormais incontournable la méthode et l'outil BIM restent innovants⁷. C'est un concept qui s'est construit au fil des années, mais qui semble pourtant récent pour les professionnels. L'investissement de certains est moindre, voire inexistant, par rapport à ceux qui l'utilisent et qui ne cessent d'innover en la matière⁸. Participer au BIM WORLD 2018 m'a fait prendre davantage conscience de l'intérêt que porte chacun des acteurs au développement du BIM.

En effet, avant l'émergence du BIM, en France, les acteurs d'un projet architectural travaillaient en séquence c'est-à-dire qu'ils réalisaient chacun les uns après les autres leur projet (sur papier puis sur ordinateur (DAO) à partir des années 1980). Il y avait une divergence des méthodes de travail et un manque de communication entre les acteurs participant au projet. Pour tenter d'uniformiser les pratiques, une méthode collaborative (méthode anglo-saxonne) et relativement commune à tous a été mise en place.⁹ Ce changement de méthode implique forcément un retard pour les Français.

Déjà depuis 1980, les architectes travaillaient sur des projets de construction virtuels¹⁰. C'est en modifiant et surtout en modernisant les processus de conception que le BIM a joué un rôle majeur dans l'évolution de l'acte de construire. Même si cette évolution ne change rien

⁷ (Bellenger, Blandin, & Celnik, 2016)

⁸ (Martin, 2017)

⁹ (Tran, 2015)

¹⁰ (Ordre des Architectes, 2015)

quant aux rôles des acteurs, la méthode dite « construire avant de construire »¹¹ permet de maîtriser entre autres les coûts et les délais. Selon un auteur, le BIM est l'un des éléments déclencheurs de la relance du secteur du BTP en crise depuis 2008 en France¹².

Ce changement de méthode retarde les Français sur le marché du BIM bien que cela fasse maintenant plusieurs années qu'ils l'utilisent. Cette méthode de travail a été insufflée dans un premier temps par la compétitivité internationale.

C'est d'abord en 1995, aux États-Unis, que la méthode collaborative BIM a émergé. Un groupe d'entreprises composé d'acteurs divers de la construction (éditeurs de logiciel, architectes, ingénieurs) a mené une réflexion sur l'optimisation des échanges entre les différents applicatifs ayant pour but d'instaurer et de faciliter la communication entre eux. De cette réflexion est né le format IFC, format universel utilisé pour le BIM¹³.

Les pays anglo-saxons et les pays scandinaves sont les plus en avance quant au déploiement et à l'utilisation du BIM soit plus de 50% des acteurs l'utilisent dans le secteur du bâtiment. Ceci se justifie par la forte implication des gouvernements à mettre en place des mesures y participant tels que : l'utilisation obligatoire du BIM pour les marchés publics¹⁴, la diffusion d'outils et de standard nationaux... Il est donc primordial pour les gouvernements de mettre en adéquation leur politique publique par rapport aux enjeux du BIM pour assurer un développement optimal.¹⁵

À l'échelle européenne, ce sont les pays scandinaves plus particulièrement la Norvège qui ont été les pionniers en matière de BIM dans les années 2000. C'est en mettant en place une agence centrale et légiférant à propos du BIM que le Danemark a suivi en 2007. La Grande-Bretagne a officialisé les standards et les processus d'utilisation du BIM en 2011. Puis c'est en 2014 et en 2015 que la France et l'Allemagne ont suivi l'impulsion de la Grande-Bretagne.¹⁶

Enfin, à échelle nationale, en France, c'est par le Plan de transition numérique dans le bâtiment (PTNB) du 20 janvier 2015 que le BIM a été révélé. Ce PTNB, présenté comme un accélérateur de la transition numérique qui a pour objectifs de « *construire plus de logements, de meilleure qualité notamment environnementale, et à moindre coût* »¹⁷, est présidé par monsieur Bertrand Delcambre, l'ayant lui-même introduit avec sa mission "bâtiment numérique" pour relancer le secteur de la construction. En réponse à ces objectifs, le BIM est présenté comme le vecteur de gains qualitatifs, économiques et environnementaux dans la conception, la réalisation, ainsi que dans la maintenance et l'exploitation des ouvrages. D'après le PTNB, en 2016, 35% des professionnels ont commencé à utiliser le BIM en France et 26% des maîtres d'ouvrage ont commencé à

¹¹ (Pauline, Clément, Mélanie, Xavier, & Nicolas, 2016)

¹² (Landrieu, 2014)

¹³ (Tran, 2015)

¹⁴ (« BIM et marchés publics », 2015)

¹⁵ (Pauline et al., 2016)

¹⁶ (GA Smart Building, 2017)

¹⁷ (Delcambre, 2014)

imposer le BIM pour certains projets.¹⁸ Toutefois, en comparaison de nos voisins anglo-saxons et scandinaves, ces chiffres restent faibles. Voyons maintenant en quoi ce processus a amélioré le secteur du BTP.

I.1.1 Le BIM : Processus de travail « révolutionnaire » du BTP

Comme nous l'avons évoqué, la maquette numérique est une représentation géométrique généralement en trois dimensions. Elle constitue un support pour la mise en place du « **building information model** », car la distinction principale entre les deux est l'ajout d'informations. Dans ce sens, le BIM s'apparente au SIG, car il allie à la fois représentations géométriques (3D) et ensemble structuré d'informations.

Comme l'évoque Hélène Macher dans sa thèse¹⁹, le BIM est un outil et un processus en plein essor dans le secteur du bâtiment. Il a pour but de concevoir le bâtiment et d'accompagner l'intégralité de son cycle de vie (conception, construction, exploitation, démolition) comme l'illustre la Figure 1 ci-contre contrairement à la maquette numérique qui est une représentation « morte », n'évoluant pas dans le temps. L'outil BIM est le clone du bâtiment, son ADN, une agrégation de données contenant tous les détails et renseignements du projet.



Figure 1 : Le processus BIM (source : njhcadservices.co.uk)

Comprendre les particularités que présente le sigle « BIM » pour permettra de mieux appréhender les critères à prendre en compte pour étendre la méthode à l'échelle du territoire.

En effet, on retrouve trois significations de l'acronyme BIM : **B**uilding **I**nformation **M**odel, **M**odeling et **M**anagement.

- « *Building information model* : maquette numérique du bâtiment. Le BIM est alors un ensemble structuré d'information sur un bâtiment existant ou en projet.

¹⁸ www.batiment-numerique.fr

¹⁹ (MACHER, 2017)

- *Building information modeling* : processus qui permet à tous les intervenants d'avoir accès aux mêmes informations numériques pour effectuer le partage de l'information sur le cycle complet d'un bâtiment.

Selon Dominique Clayssen, architecte chez Espace Architecture, l'échange et l'acquisition d'informations devient un enjeu essentiel de la réussite d'un projet²⁰.

- *Building information management* : organisation et contrôle du processus qui utilise les informations contenues dans la maquette numérique pour effectuer le partage de l'information sur le cycle complet d'un bâtiment. »²¹

Afin d'éviter toute confusion, il convient de distinguer maquette numérique et modèle numérique. L'acronyme BIM sera utilisé pour qualifier l'ensemble du processus et l'expression « BIM Management » pour désigner la mise en place de la méthode et la gestion du modèle 3D. Cette méthode sera adaptée au choix du niveau de BIM que le maître d'ouvrage souhaite engager.

D'après @GenieBelt, éditeur de logiciel canadien, quatre niveaux d'usages et de collaboration BIM peuvent être énumérés. Chacun des niveaux détermine la maturité du BIM. Plus le niveau est grand, plus la collaboration et son intégration sont importantes. Dans chaque niveau, le type de données disponibles est défini par les dimensions répertoriées (2, 3, 4, 5, 6 dimensions). Certes, le développement de ces niveaux d'usages du BIM répond à une chronologie prévisionnelle précise et fixée par rapport au progrès technologique actuel et envisagé, comme l'illustre d'ailleurs la figure 2 ci-dessous.

Le BIM niveau 0 consiste à réaliser de la conception assistée par ordinateur (CAO) en 2D. La collaboration entre les acteurs étant faible, voire inexistante, rend cette méthode désuète.

Le BIM de niveau 1 quant à lui consiste à comparer, combiner des ébauches ou des plans 2D et des modèles 3D dans un environnement commun. Chaque intervenant travaille sur son modèle numérique, la collaboration est partielle. Il s'agit du niveau de BIM le plus développé en France.

Le BIM de niveau 2 ajoute des dimensions supplémentaires telles que la gestion de temps (4D) et le calcul de budget (5D). Il y a une totale collaboration entre les intervenants, car chacun travaille sur une copie d'un modèle 3D au format IFC, commun à tous. Ce format unique permet de mettre en place l'interopérabilité des données gérées par un nouvel acteur, le BIM Manager.

Le dernier niveau, le BIM de niveau 3 : « modèle numérique intégré » ou « OpenBIM » consiste à faire travailler tous les intervenants sur le même modèle 3D de manière instantanée à l'aide d'un Cloud. L'avantage de ce dernier niveau permettrait d'optimiser le processus d'élaboration.

²⁰ (Nagy et al., 2015)

²¹ (Nagy et al., 2015)

Comme nous pouvons le constater, le nombre de données générées augmente à chaque niveau. Chronologiquement, en 2018 la France se trouve encore entre le niveau de maturité 1 et 2.

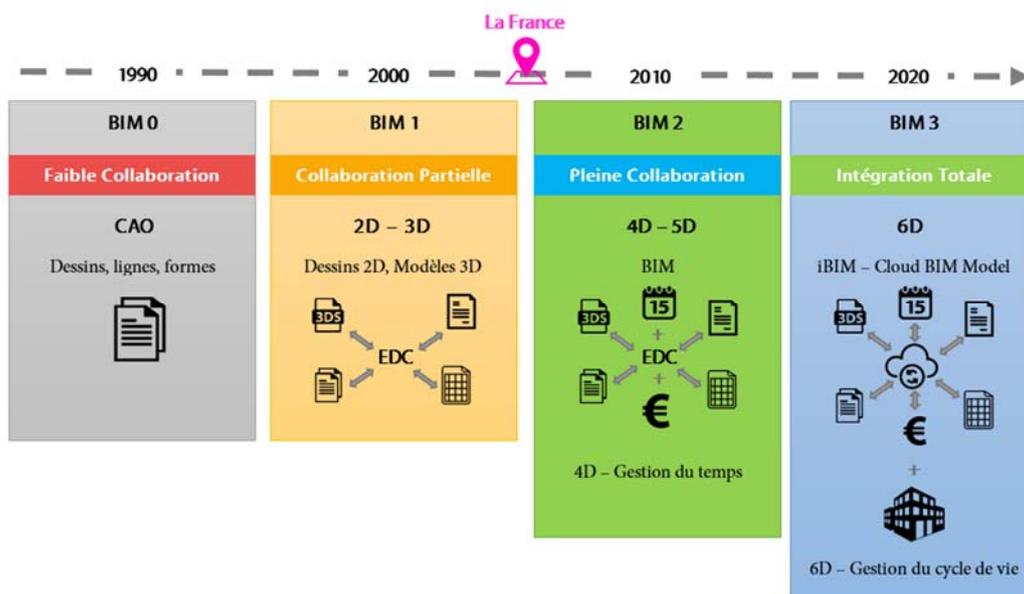


Figure 2 : Les différents niveaux BIM – Niveau de maturité de la France en BIM aujourd’hui
(Source : inspiré de www.geniebelt.com)

L’appui des nouvelles technologies du numérique offre au BIM de nombreux atouts et avantages tels que : la coopération, la coordination entre les différents acteurs, le partage de diverses données, le gain financier et la visualisation facilitant la communication.²²

Cet outil collaboratif est en pratique de plus en plus répandu et de ce fait demandé et parfois imposé en commande publique. Les acteurs se conforment à la transposition dans le droit français de la directive européenne²³ 2014/24/UE du 26 février 2014 relative aux marchés publics. La transposition de cette directive en droit interne a fait l’objet de l’ordonnance du 23 juillet 2015 relative à la passation des marchés publics et à son décret d’application du 25 mars 2016. Les « États membres peuvent exiger l’utilisation d’outils électroniques particuliers tels que des outils de modélisation électronique des données du bâtiment »²⁴. En complément de cette ordonnance, et afin d’accompagner davantage les acteurs dans la démarche BIM la mise en place de guide, de normes ou encore de repères devrait permettre d’avoir une base commune à tous. Les réglementations propre au BIM restant insuffisantes, la contractualisation prend le relais (I.3.2)

Il faut le constater, le BIM est un processus révolutionnaire pour le bâtiment qui commence à s’ancrer pour les travaux publics. Or modéliser un bâtiment sans l’environnement qui

²² (Benni, 2016)

²³ (Bellenger et al., 2016)

²⁴ (Gillion, 2014)

l'entoure rend difficile la compréhension de son insertion dans le site. L'étendue des domaines d'application du BIM à plus grande échelle (quartier, ville) se fait progressivement et induit donc un changement de sigle. Le BIM devient le CIM : City Information Model/ Modeling/ Management. Le projet « Bordeaux Belvédère »²⁵ de l'établissement public d'aménagement (EPA) « Bordeaux Euratlantique » est le premier CIM en France. Il conviendra de l'examiner dans la partie (II.1.2)(Annexe 1 : présentation du projet).

I.1.2 La genèse du BIM : Constats et perspectives

Comme nous l'avons vu, insufflé par une démarche gouvernementale pour relancer le monde du bâtiment, le processus BIM marque un tournant et sera la méthode à privilégier pour les futurs projets de construction. Son expansion à l'échelle du territoire constituerait-elle une valorisation de la profession de géomètre-expert (I.1.2.1) ? Regorgeant de multiples avantages, cet outil collaboratif n'a pas fini d'évoluer ! C'est pourquoi beaucoup de chercheurs et développeurs s'intéressent aujourd'hui à l'expansion du BIM (I.1.2.2).

I.1.2.1 Une plus grande valorisation de la profession de géomètre-expert à travers le CIM

En plus de sa mission principale consistant à « *réaliser les études et les travaux topographiques qui fixent les limites des biens fonciers et, à ce titre, lever et dresser, à toutes échelles et sous quelque forme que ce soit, les plans et documents topographiques concernant la définition des droits attachés à la propriété foncière, tels que les plans de division, de partage, de vente et d'échange des biens fonciers, les plans de bornage ou de délimitation de la propriété foncière ...* »²⁶, le géomètre-expert est amené à exercer une diversité d'autres missions : réaliser des démarches administratives d'urbanisme, effectuer différents diagnostics de bâtiments, gérer un patrimoine immobilier, établir et/ou gérer les copropriétés et les divisions en volume, conseiller les élus locaux concernant leur(s) projet(s) d'aménagement et d'urbanisme. Cette liste énonce des champs d'application divers recoupant le côté juridique et le côté technique de la profession.²⁷

Cette dualité de compétences permet au géomètre-expert d'intervenir dans un processus BIM et de répondre à différentes missions. Généralement, le géomètre intervient en amont d'un projet BIM pour attester la dimension juridique du droit attaché à la propriété (définition des limites foncières, des servitudes et autres droits associés à la propriété). Ainsi, le géomètre-expert opère pour les projets de constructions nouvelles, pour les réhabilitations de bâtiments, et pour la gestion de patrimoine²⁸. Le géomètre a un rôle essentiel dans un projet élaboré à l'aide d'un processus BIM. De ce fait, les premiers cabinets de géomètre-expert développent et approfondissent ce domaine en mettant en place des pôles spécialisés en BIM.

²⁵ Ce projet a constitué la structure de mon stage durant ce TFE

²⁶ Article 1^{er}, alinéa 2 de la loi du 7 mai 1946

²⁷ (Bouillon, 2016)

²⁸ (Dehodont, 2015)

Par sa liaison proche avec les urbanistes, les architectes, les collectivités territoriales, le géomètre est également concerné par l'urbanisation massive qui s'opère aujourd'hui dans les villes. Il est l'un des acteurs le mieux placé pour participer au déploiement de l'expansion du BIM à l'échelle d'un quartier. Ses connaissances notamment en urbanisme et en voirie et réseaux divers (VRD) le mettent en avant. Le géomètre occupe un rôle majeur. Il est indispensable qu'il garantisse les dimensions de la maquette ainsi que ses propriétés juridiques.²⁹ En l'absence de géomètre-expert, les limites foncières ne seraient pas connues de manière certaine. Cette incertitude provoquerai d'une part des complications quant à la délivrance des autorisations d'urbanismes et d'autre part cela augmentera les contentieux en matière d'empiètement. L'application de la méthode BIM à une échelle plus grande offrira davantage de marchés au géomètre-expert : voyons comment nous pouvons appréhender cette expansion.

I.1.2.2 L'expansion du BIM, une nécessité

Les études déjà réalisées tendent à montrer que le développement du numérique et la complémentarité que présente le BIM avec d'autres outils impliquent un changement d'échelle spatiale et de ce fait du modèle numérique. Il semble favorable d'étendre la méthode BIM aux chantiers de travaux publics « BIM infrastructure » afin que ces mêmes acteurs profitent également de ses avantages.

Existant depuis plus de trente ans, le système d'information géographique (SIG) est aujourd'hui très utilisé dans les collectivités territoriales et les services de l'État. Bien qu'il soit naturel que le SIG soit développé au sein des cabinets de géomètres experts, au regard de ses compétences en la matière, il reste très peu mis en place.³⁰ Afin d'assurer un avenir certain à l'expansion du BIM, des formations adaptées en SIG seront nécessaires pour une bonne pratique de l'interopérabilité entre le BIM et le SIG. Par définition les données numériques géographiques et le BIM soulèvent des similitudes. D'après la définition de Gatrell³¹, les données numériques géographiques sont la représentation d'un ensemble d'objets géographiques ayant des propriétés et des relations entre eux. Or, le BIM et le SIG convergent vers une volonté unique de représenter un modèle composé d'un ensemble d'objets interagissant les uns avec les autres et liés à des données attributaires contenues dans une base de données.³²

Le SIG est un outil et un système d'information, il est défini de la manière suivante par des auteurs : « *En tant qu'outil, les SIG comportent des fonctions de saisie des données géographiques sous forme numérique (Acquisition), un système de gestion de ces données (Archivage), des fonctions de manipulation, de croisement et de transformation de ces données spatiales (Analyse) et des outils de mise en forme des résultats (Affichage). En tant*

²⁹ Présentation Cabinet Pierre Blois – Colloque BIM ESGT - Paris

³⁰ (MACHER, 2017)

³¹ (Gatrell, 1991)

³² (BENNI, 2016)

que système d'information géographique, un SIG suppose une certaine modélisation du monde réel. Il s'ensuit qu'un SIG comprend des outils rendant compte de cette abstraction de la réalité (Abstraction) »³³. Le SIG est défini selon cinq termes commençant par un A : Acquisition, Archivage, Analyse, Affichage, Abstraction. Ces termes constituent la règle des 5A tout en étant en corrélation avec le processus BIM..

Dans un premier temps utilisés pour moderniser la cartographie tant sur le gain de productivité que sur le gain de précision de la représentation topologique, les SIG « 2D » ont progressivement remplacé les cartes et plans papier. Le nombre important de données qu'ils comportent permet la réalisation d'analyses thématiques fines aboutissant à l'établissement de cartes plus pertinentes. Parmi les 5A qui définissent le SIG, l'Affichage est la fonction majeure.³⁴ En effet, la quasi-totalité de la réglementation urbaine en vigueur en France est régie par des SIG. De plus, grâce au SIG, il est possible pour la collectivité territoriale de créer un outil de visualisation permettant de présenter les projets urbains en cours ou projetés. Le développement du Web Mapping a permis de mettre en place la cartographie participative et donc d'utiliser le SIG comme outil de concertation lors des projets d'aménagement. Les citoyens peuvent donc prendre connaissance, comprendre et contribuer aux projets d'aménagements en faisant part de leurs observations. Cet angle de vue du SIG répond à la dimension participative, un des piliers de la Smart-City. La coopération BIM et SIG sont propices d'augmenter les diverses analyses et simulations actuelles en vue d'enrichir les données urbaines.

Le système d'information géographique possède donc de nombreux atouts que nous venons d'énumérer. En revanche, l'entrée de la 3D pour la communication et la concertation des projets implique au SIG de pallier son manque d'information tridimensionnelle et de rendre compte de la verticalité de la ville. Les données numériques géographiques 3D viennent combler ce manque.³⁵

Ces nouveaux objets font place ainsi à de nouvelles représentations. Prenons l'exemple d'un bâtiment qui était représenté en 2D par un polygone et qui est maintenant représenté en 3D par un volume. Afin d'allier gestion technique du patrimoine et SIG, l'open géospatial consortium (OGC) a mis en place en 2008 le format CityGML. Il permet de stocker, échanger et représenter les données liées aux modèles 3D de la ville.

Ce standard CityGML comprend différentes thématiques d'objets urbains : le relief du terrain, les bâtiments (extérieur et intérieur), les ponts, les tunnels, la végétation, les réseaux de transports, les réseaux enterrés, l'hydrographie, le mobilier urbain, zones de couverture pour les différentes utilisations du sol, les informations relatives à l'air...³⁶ Un auteur a néanmoins constaté quelques divergences entre le SIG et le BIM, notamment sur l'échelle

³³ (Jean Denègre & François Salge, 2004)

³⁴ (Brasebin, 2015)

³⁵ (Brasebin, 2015)

³⁶ www.citygml.org

du modèle³⁷. Le format CityGML offre une gestion multiéchelle à l'aide de différents niveaux de détails (LOD 0 à 4³⁸) :



Figure 3 : Les différents niveaux (LOD) de détails en CityGML (Source : oslandia.github.io)

La définition de chaque niveau est reprise ci-dessous³⁹ :

- Le niveau 0 (*échelle régionale*) : correspond au relief du terrain et à l'emprise des bâtiments au sol. Cette modélisation peut être aisément obtenue à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT). Il est possible également d'y inclure les réseaux à échelle régionale.
- Le niveau 1 (*échelle urbaine*) : La modélisation des bâtiments s'obtient par extrusion de son emprise en fonction de sa hauteur moyenne. Comme l'illustre la Figure 3 ci-dessus, les bâtiments sont représentés sous forme cubique.
- Le niveau 2 (*échelle du quartier*) : Pour ce niveau, la pente des toits est conforme à la réalité.
- Le niveau 3 (*échelle du modèle architectural extérieur*) : À la modélisation de niveau 2, nous ajoutons les ouvertures en distinguant portes et fenêtres.
- Le niveau 4 (*échelle du modèle architectural intérieur*) : Une modélisation à ce niveau de précision doit prendre en compte l'intérieur du bâtiment, en distinguant les pièces, les portes, les escaliers et le mobilier. Ce niveau a été défini en cohérence avec l'IFC, format d'échange en BIM.

Tout comme pour la modélisation d'une maquette BIM, plusieurs procédés sont envisageables pour modéliser les données urbaines 3D, qu'il s'agisse de reproduire l'existant ou de modéliser la création d'un artiste. Le niveau de détail du modèle 3D se définit en amont et selon la finalité voulu. Dans l'objectif d'une interopérabilité entre CIM et Smart-City, nous verrons que le niveau de détail est une condition première pour toutes études ou simulations envisagées. La première maquette numérique urbaine en France est celle de la

³⁷ (Laurencin, 2017)

³⁸ georezo.net

³⁹ (Ferriès & Bonhomme, s. d.)

Principauté de Monaco (Figure 4). Cette maquette a été réalisée par les procédés énumérés précédemment et met en œuvre différents applicatifs tels que la réglementation urbaine. Ce projet est l'illustration même du besoin d'étendre le BIM.⁴⁰ Cette maquette permet aux services (cadastre, topographie, urbanisme, police, pompier) d'avoir une topographie précise de la principauté et d'utiliser les données dont ils ont besoin.



Figure 4 : Maquette numérique urbaine (MNU) de Monaco, 2011
(Source : www.lepoint.fr)

Nous constatons que l'application du BIM à l'échelle du territoire est source d'emploi pour la profession de géomètre-expert. De plus, mêlant à la fois BIM et SIG, le CIM se révèle être un outil très intéressant pour les services de la ville. Voyons si le CIM peut être lui-même source de services pour l'utilisateur.

I.2 Le développement du CIM : un atout pour la mise en place des smart-cities

Très peu voire quasi inexistant en France, le CIM est en revanche en plein développement aux États-Unis. Le premier modèle CIM en France est en cours de réalisation à Bordeaux sur le projet de « Bordeaux Belvédère » (Figure 5). Définir et comprendre le CIM (I.2.1) et la démarche Smart city (I.2.2) est un prérequis pour étudier leurs convergences (I.2.3). L'éventuelle existence de convergence entre ces deux démarches permettra d'étudier une éventuelle interaction entre les deux (II).



Figure 5 : Aperçu du projet CIM « Bordeaux Belvédère »

⁴⁰ (Monier-Vinard, 2015)

I.2.1 Le CIM : Un modèle numérique à grande échelle

Bien que le BIM et le « BIM pour l'infrastructure » ne soient pas encore fermement ancrés en France, l'extension de la méthode BIM à plus grande échelle (quartier, ville) semble nécessaire pour répondre aux enjeux des smart-cities. Un modèle 3D CIM permettrait potentiellement d'être utilisé par les urbanistes et les aménageurs afin de les guider pour planifier, conceptualiser, et analyser la ville plus efficacement. En effet, victime de l'urbanisation massive les ressources foncières deviennent de plus en plus rares. L'accroissement des projets architecturaux et d'infrastructures oblige les acteurs de l'aménagement du territoire à prendre en considération la gestion de l'espace aérien et souterrain, les exigences paysagères (ensoleillement, masques...) ainsi que la gestion et l'utilisation du foncier. Il est donc vital de penser l'aménagement de la ville en trois dimensions en s'appuyant non plus sur des données en plan, mais sur un modèle 3D CIM.⁴¹

Tout comme le modèle BIM, le modèle CIM est par définition « *un modèle de données centralisant et harmonisant des données géographiques (géolocalisées), géométriques (2D/3D), temporelles (4D), sémantiques (5D), voir financière (6D et au-delà), sur plusieurs niveaux de détail. Elle peut être étendue, exploitée, puis enrichie par des moteurs de simulation numérique.* »⁴²

Mais la complexité de l'environnement de la ville induit inévitablement une modélisation plus complexe qu'en BIM, car il faut y intégrer des modèles statiques, mais aussi des objets dynamiques. Le modèle CIM est en réalité un modèle fédéré composé de modèles existants et projet. Ces modèles sont regroupés en sous-modélisations : bâtiment, végétation, infrastructure, MEP, route et plan d'eau (Figure 6). Il est certain que le déploiement des maquettes BIM et « BIM infrastructure » ne va faire qu'enrichir les modèles CIM.

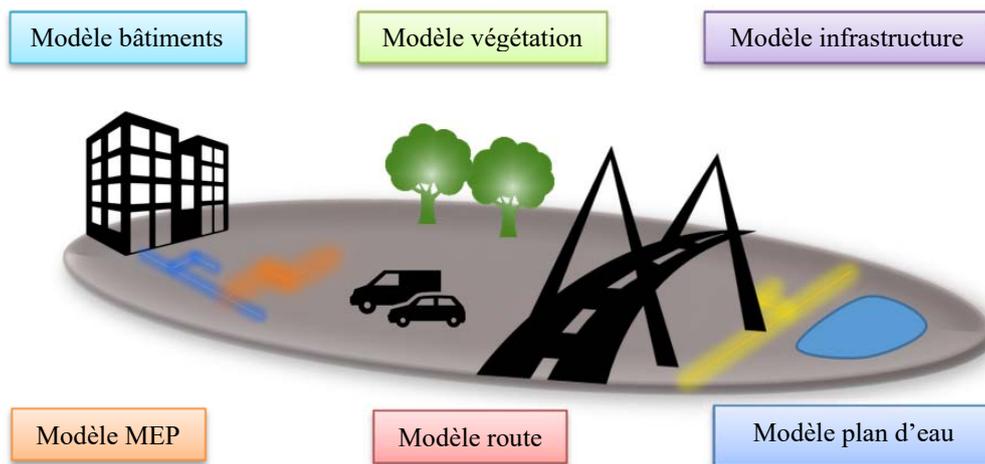


Figure 6 : Composition du modèle fédéré CIM – (Source : réalisation personnelle)

⁴¹ (Xu, Ding, Luo, & Ma, 2014)

⁴² (Nagy et al., 2015)

La richesse d'un modèle fédéré aussi complet permet alors de réaliser des études multiéchelles et multisources. De son identité à sa composition, le modèle architectural propose des informations pertinentes progressives. Prenons un exemple, l'époque et le style architectural d'un bâtiment permettent d'orienter la planification urbaine tandis que plus précisément la configuration des objets implémentés dans le bâtiment (capteurs) permet d'étudier l'éventuelle mise en place du service domotique permettant d'assurer le confort des personnes. À l'aide d'un sous-modèle ancré dans un modèle CIM nous pouvons réaliser des études à l'échelle de la ville comme à l'échelle du sous-modèle.

Le sous-modèle « route » permet de mener à bien l'étude et la réalisation du projet routier, comme de réaliser des études de flux ou de tester les intersections mises en place en phase projet. Concernant le sous-modèle reprenant les plans d'eau de la ville, les possibilités sont par exemple la définition des zones inondables et l'évaluation de la qualité de l'eau à l'aide de capteurs.

L'évaluation d'un projet d'aménagement en réalisant des simulations tels que le trafic, la congestion, l'énergie, les risques naturels (tremblements de terre, ouragan, inondations)⁴³ devient plus facile.

Les innombrables possibilités que promet le CIM font rêver et pourtant son existence en France reste quasi inexistante, car l'élaboration d'un modèle 3D CIM est compliquée et longue à mettre en œuvre. En effet, la présence d'acteurs plus nombreux rend le processus plus long. Ceci demande à chacun d'être encore plus vigilant et rigoureux quant aux données utilisées. Il est important que tous les intervenants (architectes, concepteurs de voirie, urbanistes) travaillent sur les mêmes bases (côtes altimétriques du terrain existant par exemple) pour élaborer leur projet afin de perdre le moins de temps possible. C'est au CIM Manager⁴⁴ de s'en assurer de cela en réalisant des réunions de coordination régulières entre acteurs. Il faut noter que le CIM manager ne remplace pas le BIM manager. Le BIM manager se charge de vérifier et gérer l'ensemble des bâtiments et le CIM manager s'occupe de la gestion à plus grande échelle du modèle. Mais cela pose des questions en termes de contrats et de responsabilités (I.3).

Comme nous l'avons indiqué, le CIM consiste à intégrer les modélisations des différents acteurs dans un seul et même modèle 3D. La difficulté étant de ne perdre aucune donnée attachée au sous-modèle qu'il soit au format IFC ou CityGML.⁴⁵ Concernant le BIM, chacun des bâtiments est modélisé individuellement à l'aide d'un logiciel de modélisation 3D tel que ®Autodesk Revit, ®Abvent ArchiCAD ou encore ®Allplan puis intégré au modèle fédéré. La diversité des architectes intervenant dans un projet CIM est à prendre en compte, car chacun d'entre eux renseigne différemment sa maquette. Les nomenclatures sont alors différentes et donc à adapter.

⁴³ Architecture Engineering Construction - Aecbytes.com

⁴⁴ Manière d'identifier la personne qui manage le CIM.

⁴⁵ (Xu et al., 2014)

La modélisation des axes de circulations existants peut être réalisée à l'aide d'Autodesk Infracore. En revanche, les projets routiers sont réalisés à l'aide de logiciel de modélisation BIM étendant leurs bibliothèques au « BIM infrastructure » ou à l'aide de logiciel tel que Géométrie Covadis ou aussi Autodesk AutoCAD Civil 3D. Pour la réalisation des projets routiers, une modélisation de l'existant est nécessaire pour un bon raccordement entre les deux.

Comme exposé, la modélisation des plans d'eau et des espaces publics constitue un outil de gestion pour la collectivité mais elle doit être réalisée à partir de solutions spécifiques. Elle permet de constater les faits et d'apporter un confort de vie pour les résidents. Les solutions spécifiques du CIM sont lorsque l'on a recours à des moyens conçus spécialement pour la modélisation urbaine au lieu d'étendre une solution à plus grande échelle. Ces solutions sont intégrées au SIG, il s'agit du CityGML.

La compilation des modèles 3D se réalise généralement à l'aide d'Autodesk Navisworks Manage ou de Solibri. Ces logiciels permettent de multiples fonctions tel que : la détection de clash (II.1.2), la vérification d'une bonne insertion dans le site (géoréférencement, point de base), la prise de côtes, la visualisation du projet dans son intégralité.

Afin d'extraire efficacement les données utiles contenues dans l'information massive, nous devons d'abord organiser ces informations de manière ordonnée. Ainsi, le CIM paraît être une méthode qui résoudrait l'organisation de l'information de la ville.⁴⁶

Le CIM pourrait-il être davantage étendu pour relier les villes entre elle ? Si nous arrivons à étendre nos modélisations 3D à la ville, pourrions-nous un jour l'étendre à la planète ? Dans l'objectif de « Smart city » : comment faudra-t-il procéder pour créer des modèles urbains intelligents qui peuvent être analysés et simulés en temps réel pour améliorer continuellement la santé, la sécurité et le bien-être des gens qui y vivent ?

I.2.2 La Smart-City : une nouvelle vision urbaine

Bien qu'à la fin du XXe siècle, à Singapour, le projet « Supertrees »⁴⁷ illustrât la fusion de la nature et de la technologie, le développement des technologies de l'information et l'urbanisation massive ont conduit Bill Clinton, président des Etats-Unis, en 2005 à utiliser le terme « Smart-city » pour la première fois. Selon lui l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) permettrait de pallier le mouvement important des populations vers les villes, mais aussi les difficultés que rencontrent les pouvoirs publics. Touchant à la fois la ville et le numérique, il est compliqué de se faire une idée précise de ce qu'est réellement la « smart city ». La définition et l'application de ce concept dépendent du pays, du territoire, du contexte et des enjeux territoriaux⁴⁸. De manière générale, une ville est dite « intelligente » lorsqu'elle utilise pleinement les nouvelles technologies de la

⁴⁶ (Xu et al., 2014)

⁴⁷ Les arbres artificiels mesurent entre 18 et 50m et imitent la fonction écologique des arbres (éclairage (à l'aide de cellule photovoltaïque), collecteur d'eau), (Petraud, 2017)

⁴⁸ (Simard, 2015)

communication et de l'information dans le but de gérer, d'améliorer et d'optimiser sa politique et son fonctionnement. Il convient désormais de s'intéresser à la composition de la smart-city.

D'après Rudolf Giffinger, expert en recherche analytique du développement urbain et régional à l'Université de technologie de Vienne : *“A Smart City is a city well performing in these 6 characteristics, built on the ‘smart’ combination of endowments and activities of self-decisive, independant and aware citizens.”*⁴⁹ [Traduction personnelle : Une ville intelligente est une ville performante dans ces 6 caractéristiques, bâtie sur la combinaison «intelligente» des dotations et des activités de citoyens autodécisifs, indépendants et conscients.]

Les six caractéristiques principales d'une smart-city sont les suivantes :

- **Smart Governance** [Traduction : administration intelligente] ;
- **Smart People** [Traduction : habitants intelligents] ;
- **Smart Economy** [Traduction : économie intelligente] ;
- **Smart Mobility** [Traduction : mobilité intelligente] ;
- **Smart Environment** [Traduction : environnement intelligent] ;
- **Smart Living** [Traduction : mode de vie intelligent].

En effet, le modèle définissant la ville intelligente proposé par Rudolf Giffinger est le plus souvent utilisé pour démontrer les six piliers de la smart city. En complément du modèle de Rudolf Giffinger, Boyd Cohen, chercheur, professeur et expert en stratégie urbaine et climatique propose les domaines dans lesquelles s'appliquent les différentes dimensions (Figure 7).⁵⁰ Les points de vue de ces deux chercheurs convergent vers une même volonté de définir 6 composantes à la smart-city (I.2.3).



Figure 7 : Les domaines d'actions des six piliers de la Smart City selon Cohen (Source : (« Boyd Cohen », 2011)) – (Annexe 3)

Ces six composantes sont la conciliation des piliers sociétaux, culturels et environnementaux qui permettraient de répondre à l'accroissement de projet urbain.

La mise en place des smart-cities est en règle générale bien perçue par les citoyens notamment par la jeune génération. Cependant l'administration, les collectivités territoriales et les agents du service public territorial sont plus attentifs et se méfient. En effet, la

⁵⁰ (« european smart cities - Why smart cities? », s. d.)

transformation numérique est inévitable et la smart city naît autour de la donnée, matière première et enjeu de toutes expérimentation et réalisation jusqu'à ce jour.⁵¹

I.2.3 Vers une complémentarité entre le CIM et les six piliers de la smart-city

Les six composantes de la smart-city vont maintenant être exposées selon une logique bien précise qui est celle de l'élaboration de la ville intelligente. Parmi ces six piliers, deux sont primordiaux à l'établissement d'une smart-city : la gouvernance collaborative et la mise en avant du citoyen.

I.2.3.1 La collaboration, un élément clé et commun

Aujourd'hui, la gouvernance d'une ville est relativement fermée et peu transparente. Tout comme pour le BIM/CIM le développement du numérique et des outils technologiques tend à mettre en place la participation et le mode collaboratif entre les acteurs. L'art de « bien gouverner » n'est plus suffisant. En plus d'assurer un bon fonctionnement et de contrôler leur territoire, les collectivités territoriales doivent adopter un nouveau mode de pilotage en prenant en compte la participation citoyenne lors des réflexions et des prises de décision afin d'être totalement transparentes. Elles doivent communiquer avec les habitants de manières efficaces et en n'excluant personne. Pour cela elles ont recourt aux nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) et à l'open data. Ces outils permettant aux collectivités territoriales, aux organismes, aux entreprises ainsi qu'aux citoyens de co-concevoir leurs idées, leurs décisions... Les NTIC (panneaux d'affichage électroniques, le Web Mapping) ou les maquettes numériques permettent aux collectivités territoriales d'être plus transparentes et plus connectées. L'amélioration du dialogue entre les acteurs publics et le citoyen est l'objectif premier, car sa participation est indispensable.

I.2.3.2 Le citoyen, un acteur capital

Cette démarche « smart-city » concerne directement le citoyen, car le bon fonctionnement de la ville dépend majoritairement de l'appropriation qu'il s'en fait. Il est le meilleur expert de ses attentes et de ses besoins. Sa non-participation rendrait limité le développement de la ville, car les projets les plus aboutis sont ceux où les citoyens ont pu débattre des idées selon Luc Belot⁵². D'après Emmanuel, président de la SBA⁵³, l'intelligence citoyenne et collective doit alors être mise en avant, car *« nous sommes en train d'évoluer vers une ère numérique illimitée. C'est un énorme défi qui place l'homme au centre du processus de décision. Parce qu'il est informé en temps réel, un citoyen spectateur et consommateur plutôt passif se convertit en acteur consommateur, producteur et responsable. Sans apparaître utopique, il nous faut passer d'un monde aux intérêts individuels à un monde géré par et pour le bien*

⁵¹ (Auby & De Gregorio, 2017)

⁵² (Belot, 2017)

⁵³ Smart Building Alliance

commun (...)»⁵⁴. Les habitants sont sollicités de manière informelle ou participative de la conception d'un projet à sa réalisation à l'aide des divers outils (débat public, enquête publique, concertation du public, la mise à disposition du public)⁵⁵ dont la maquette CIM pourra servir de support de consultation pour le citoyen.

I.2.3.3 Une diminution économique conséquente

Dans le but de limiter les risques liés à l'affaiblissement des ressources de la ville notamment énergétiques impactant la vie humaine, tous les acteurs sont prêts à collaborer en changeant leurs modes de vie et de fonctionnement. Les impacts sur la santé, l'alimentation, la gestion des déchets sont alors limités par une gestion efficiente. Le processus BIM illustre cette même idée de collaborer afin d'éviter les erreurs et d'engendrer des coûts supplémentaires. Cela consiste également tant pour le BIM que pour la Smart-city à entreprendre des nouvelles prestations de services innovants autour des objectifs fixés dans le but d'interagir et de produire davantage et à différentes échelles (locale, nationale, européenne, mondiale). Mettre en place de nouvelles dispositions implique la création de nouveaux services et de nouveaux emplois. Les nouveaux services proposés sont par exemple l'e-administration, l'E. service... Tout comme pour le processus BIM, la smart-city nécessite une personne compétente pour gérer et coordonner les 6 piliers, le « smart-city manager ».

I.2.3.4 La mobilité intelligente

L'ouverture de l'open data permet au citoyen d'avoir une idée globale et précise du fonctionnement de la ville. Concernant la mobilité, il s'agit de connaître l'état de la circulation sur le réseau routier, ferré et aérien en temps réel (temps d'attente aux différents arrêts, les pannes et les accidents impliquant des retards). À l'aide, d'application comme ®Waze, ®SNCF, ou ®CityMapper l'utilisateur bénéficie du service de guidage tout en sachant qu'il peut être lui-même producteur de données en signalant une information sur son parcours. Ceci répond à un objectif de société ouverte.

I.2.3.5 Un environnement durable et sécurisé pour demain

Par définition, l'environnement comprend des éléments naturels et artificiels interdépendants qui sont parfois modifiés par l'humain. Préserver l'environnement est une priorité pour les générations d'aujourd'hui et future. Le Smart Environment consiste dans un premier temps à protéger et gérer durablement les ressources de la ville. On retrouve dans ces ressources, la biodiversité, la qualité de l'air et l'empreinte sur l'eau et les déchets. Régénérées de façon continue, les différentes énergies renouvelables (solaire, géothermique, éolien, hydraulique et biomasse) font parties des outils et modèles respectueux de l'environnement que la ville intègre à l'ensemble de ses réseaux. Leur gestion plus précise à l'aide d'outils numériques permet d'aboutir à une adéquation entre production, distribution et consommation.

⁵⁴ www.villeintelligente-mag.fr

⁵⁵ les-smartgrids.fr

L'écoquartier du Fort d'Issy-les-Moulineaux répond aux objectifs d'environnement intelligent et durable. En effet, conformément à la loi du 15 juillet 1975, responsabilisant les collectivités locales de l'élimination des déchets ménagers produits par leurs habitants, la ville d'Issy-les-Moulineaux a mis en place un réseau de collecte pneumatique passant sous la voirie et s'étendant sur 1200m. Les déchets sont acheminés dans les camions de ramassage afin d'être traités et valorisés efficacement. Concernant l'utilisation des énergies renouvelables, le Fort d'Issy possède deux puits géothermaux à plus de 750m sous terre afin de couvrir plus de 75% des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire.⁵⁶

Le second objectif que l'on entend dans Smart Environment est la mise en place de planifications stratégiques urbaines durables. Elles consistent à définir des orientations générales et des principes d'actions pour le développement d'un territoire urbain. L'outil CIM pourrait ici être utilisé. Ces orientations générales définissent de nouvelles formes d'habitat, des bâtiments basse consommation (BBC), de bâtiments à énergies positives (BEPOS), de bâtiments à haute qualité environnementale (HQE). Ce second objectif tend dans sa globalité à répondre au label écoquartier. Le bois étant un matériau d'avenir avec d'intéressantes propriétés (*moins polluant, entièrement recyclable, capacité d'être souple ou solide, ayant une forte compétence d'absorption des chocs*), son utilisation relance le secteur de la construction et défie les architectes. Hélène Schlafer, architecte, a réalisé une résidence étudiante de 230 chambres à Noisiel⁵⁷ – une commune de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée – construite avec façades, murs porteurs et cages d'ascenseurs en bois. Ce projet est l'un des premiers à avoir acquis le label BBCA. À échelle nationale, d'autres projets sont en cours : la tour Hypérion de Jean-Paul Viguier et associés, et la tour Elithis Danube d'Elithis. Le projet Hypérion avec sa surface de 17 000m² est une tour en bois de logements, bureaux, et commerces de la zone d'aménagement concerté (ZAC) « Gare Saint Jean » à Bordeaux, quartier Belcier. La livraison de ce projet est prévue pour 2020⁵⁸.

Le projet Elithis Danube présente 63 logements et 809m² de bureaux. La tour est ancrée dans la ZAC Danube comprenant une logique d'aménagement d'écoquartier. Il s'agit de la première construction à énergie positive permettant d'avoir une consommation inférieure à la production que le bâtiment génère. Financièrement, cela engendre des coûts supplémentaires, mais la conception a été réalisée à l'aide du BIM, ce qui a permis de maîtriser le coût engendré par la complexité des enjeux fixés.⁵⁹

Bien que, ces projets convergent vers de mêmes objectifs architecturaux qui sont d'utiliser le bois pour 85% de la construction pour répondre aux enjeux énergétiques du XXI^e siècle, ces deux projets présentent des différenciations. Le projet Elithis Danube de Strasbourg est composé de béton pour le socle du bâtiment uniquement. Or, la tour Hypérion de Bordeaux bien qu'elle soit plus haute que celle de Strasbourg, ses fondations et son noyau structurel sont en béton.

⁵⁶ www.issy.com

⁵⁷ (Vincendon, 2018)

⁵⁸ www.viguier.com

⁵⁹ www.elithis.fr

À échelle mondiale, l'architecte Kengo Kuma a conçu le nouveau stade olympique de Tokyo tout en respectant une démarche environnementale. La structure du bâtiment sera en partie réalisée en bois. Le Smart Environment montre que les architectes et les urbanismes doivent s'adapter au développement durable en créant des œuvres architecturales incluant les enjeux d'aujourd'hui et de demain en matière d'environnement.⁶⁰

Nous constatons à travers cette approche que les six composantes d'une smart-city sont en corrélation avec les avantages que présente le CIM (collaboration, échange entre les différents acteurs, diminution des coûts...). L'échelle du BIM étant restreinte au bâtiment ne permet pas de répondre aux six piliers de la Smart city. De plus, nous pouvons constater qu'autant pour la smart-city que pour le CIM, la donnée est une source d'enjeu. Un effort du côté législatif et contractuel est à prévoir pour ces deux outils.

I.3 Convergence de deux outils, coopération indispensable des nouveaux acteurs

Comme nous l'avons vu, le BIM nécessite l'intervention d'acteurs divers (publics ou privés) et l'étendue du modèle 3D à l'échelle du quartier, de la ville ne fait qu'amplifier le nombre d'acteurs présents au projet en CIM (I.3.1). Cet accroissement paraît ainsi complexifier la mise en œuvre du processus CIM (par exemple sur le projet de Bordeaux belvédère nous avons pu constater que les échanges entre acteurs étaient plus longs et complexes qu'en BIM (I.2.1)). De plus, la diversité des intervenants implique de contractualiser de manière différente avec et entre eux (I.3.2), et cette diversité se ressent tant sur la nature du contrat que sur le montage de celui-ci. De ce fait, les impacts juridiques du BIM différeront selon ces deux critères (I.3.3)⁶¹.

I.3.1 Davantage d'acteurs nécessaires pour réaliser un CIM

Il est bien connu que les principaux acteurs d'un projet d'aménagement ou de construction sont la maîtrise d'ouvrage (MOA), la maîtrise d'œuvre (MOE) et les entrepreneurs. En complément de ce triptyque traditionnel, des acteurs supplémentaires sont amenés à intervenir. Les acteurs spécialisés en BIM/CIM seront distingués de ceux qui ne le sont pas. Ces trois principaux acteurs sont défini tour à tour dans le paragraphe suivant.

Un projet naît d'un besoin puis se bâtit à travers des objectifs et des buts à atteindre. En droit public comme en droit privé, le **maître d'ouvrage** est la pierre angulaire d'un projet, il s'agit du client. Conformément à l'article 1787 du Code civil⁶², à la loi MOP⁶³ et au CCAG

⁶⁰ Urbanews.fr

⁶¹ (Bellenger et al., 2016, p.17)

⁶² C. civ., art. 1787 : « *Lorsqu'on charge quelqu'un de faire un ouvrage, on peut convenir qu'il fournira seulement son travail ou son industrie, ou bien qu'il fournira aussi la matière* ».

⁶³ Loi MOP n°85-704 du 12 juillet 1985, relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée

Travaux 2009⁶⁴, Patricia Grelier Wyckoff définit le maître d'ouvrage comme étant « *la personne, physique ou morale, publique ou privée, généralement, mais pas nécessairement, propriétaire, pour le compte de qui les travaux ou ouvrages sont exécutés* »⁶⁵. Il existe deux grandes familles de maître d'ouvrage : privé ou public. Elles se distinguent selon deux critères : le support ou non du risque financier du projet et le type de passation des contrats. En effet, le maître d'ouvrage public, soumis aux règles de la commande publique, engage l'argent de l'Etat et ne supporte pas le risque financier du projet. En revanche, il ne bénéficie pas comme le maître d'ouvrage privé du principe dit de la liberté contractuelle. Ainsi, dans le respect de l'article 1^{er}, alinéa premier, de l'ordonnance du 23 juillet 2015, le maître d'ouvrage public est tenu de respecter « *les principes de liberté d'accès à la commande publique, d'égalité de traitement des candidats et de transparence des procédures* »⁶⁶. L'étendue du modèle BIM à l'échelle d'un quartier (CIM) semble restreindre la possibilité de contracter avec un maître d'ouvrage privé, car l'aménagement du territoire résulte d'une action volontaire et réfléchi de l'Etat, d'une collectivité territoriale (région, département ou commune) ou d'un de ses établissements publics (exemple : établissement public d'aménagement). De ce fait, le maître d'ouvrage d'un projet de construction et d'aménagement CIM est public. Le statut du « maître d'ouvrage public » aussi appelé plus communément le « pouvoir adjudicateur » ou l'« entité adjudicatrice » est régi par la loi MOP et par l'ordonnance du 23 juillet 2015 relative au marché public. Son rôle principal est de piloter le projet, de la définition des besoins à la réception de l'ouvrage. Comme l'énonce l'article 2 de la loi MOP n°85-704 du 12 juillet 1985 « [...] *Il lui appartient, après s'être assuré de la faisabilité et de l'opportunité de l'opération envisagée, d'en déterminer la localisation, d'en définir le programme, d'en arrêter l'enveloppement financière prévisionnelle, d'en assurer le financement, de choisir le processus selon lequel l'ouvrage sera réalisé et de conclure, avec les maître d'œuvre et entrepreneurs qu'il choisit, les contrats (que nous verrons en I.3.2) ayant pour objet les études et l'exécution des travaux.* »⁶⁷. Le maître d'ouvrage prend la décision de réaliser ou non l'opération d'aménagement au vu des conclusions de son étude de faisabilité portant sur des caractères technique, financier, juridique et administratif. Dans le cas où l'opération s'avère réalisable, il se doit de maîtriser le foncier en s'assurant de l'exactitude de l'assiette du projet. Pour cela il fait appel à l'acteur qui est le seul habilité légalement à dresser les plans et les documents topographiques qui délimitent les propriétés foncières⁶⁸, le géomètre-expert. En réalisant ces documents, le géomètre-expert engage sa responsabilité quant à la détermination des limites foncières et des droits attachés à la propriété (voir *infra* I.3.3). Le maître d'ouvrage doit informer les autres acteurs des éventuelles contraintes pesant sur l'assiette du projet (par

⁶⁴ Article 2 du CCAG Travaux 2009, publié par arrêté du 8 septembre 2009 au JO du 1er octobre 2009, entré en vigueur le 1er janvier 2010, applicable aux marchés publics de travaux qui s'y réfèrent expressément.

⁶⁵ (Grelier Wyckoff, 2015)

⁶⁶ (ORDONNANCE n° 2015-899 du 23 juillet 2015 relative aux marchés publics, 2015)

⁶⁷ (Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée. - Article 2, al.2)

⁶⁸ (« Géomètre-expert / Conseiller-valoriser-garantir - La profession ») www.geometre-expert.fr

exemple : servitude de passage, servitude de tréfonds, empiètements...) afin qu'elles soient prises en compte par tous. Etape fondamentale d'un marché, la programmation est imposée au maître d'ouvrage à double titre, par l'article 30 de l'ordonnance du 23 juillet 2015 relative aux marchés publics et par l'article 2 de la loi MOP⁶⁹. La rédaction du programme consiste à détailler les différentes caractéristiques (exigences architecturales, fonctionnelles, techniques, économiques, environnementales...) des ouvrages à réaliser. Il s'agit d'une tâche importante car d'après l'article 7 de la loi MOP⁷⁰, la réponse de la maîtrise d'œuvre et des entreprises dépendra de la qualité du programme. N'étant pas spécialiste en la matière, le maître d'ouvrage peut faire appel, s'il le souhaite, à un programmiste pour établir un corolaire entre le budget et le besoin. C'est à cet instant que le budget du projet est bouclé et que le maître d'ouvrage choisit ou non de conduire son projet en processus BIM/CIM. Dans le cas où le maître d'ouvrage choisit d'intégrer le processus BIM au projet, il doit réaliser en plus du programme, une charte BIM. Ce document décrit les attentes du maître d'ouvrage concernant l'organisation collaborative du projet en BIM. Plus précisément, d'après le modèle « Habitat 76 » retenu dans le PTNB, le cahier des charges BIM se devrait de mentionner les éléments suivants : la définition des termes clés, l'énumération des formalités à respecter concernant les méthodes de production des modèles numériques ainsi que leur contenu attendu selon le phasage⁷¹. Les objectifs retenus orientent le maître d'ouvrage quant à la définition des différents usages du modèle 3D. Les caractéristiques de la maquette ainsi que la méthode à adopter découlent des éléments déterminés précédemment.

Pour la rédaction de ces documents le maître d'ouvrage peut se faire aider par un prestataire de service, **l'assistant à la maîtrise d'ouvrage** (AMO). L'article 6 de la loi MOP prévoit que, les missions confiées à l'AMO peuvent concerner l'assistance financière, l'assistance administrative et l'assistance technique. Pour la rédaction de la charte BIM et autres documents concernant le BIM, le maître d'ouvrage pourra ainsi être soutenu par l'AMO BIM. L'AMO intervient en tant que conseiller et pas en tant que représentant du MOA ; à ne pas confondre avec le maître d'ouvrage délégué (MOD). Contrairement au conseiller, le représentant agit au nom et pour le compte du maître d'ouvrage.

En réponse aux besoins énoncés par le maître d'ouvrage, la **maîtrise d'œuvre** va d'après l'article 7 de la loi MOP, « *apporter une réponse architecturale, technique et économique au programme* » définie préalablement par le maître d'ouvrage. Conformément à la norme Afnor NFP03, le maître d'œuvre répond à trois missions. Il va dans un premier temps assister le maître d'ouvrage pour la consultation et la conclusion des marchés de travaux avec les entreprises puis il va ensuite diriger l'exécution de ces marchés et enfin il assistera le maître d'ouvrage à la réception de l'ouvrage. Les personnes pouvant revendiquer

⁶⁹ (Bellenger et al., 2016)

⁷⁰ « *La mission de maîtrise d'œuvre que le maître de l'ouvrage peut confier à une personne de droit privé ou à un groupement de personnes de droit privé doit permettre d'apporter une réponse architecturale, technique et économique au programme mentionné à l'article 2* » Article 7 de la loi MOP n°85-704

⁷¹ Programmation – Conception – Construction – Exploitation – Rénovation ou fin de vie. (Source : www.saint-gobain.com/fr/le-bim-avec-saint-gobain/lengagement-de-saint-gobain-dans-le-bim)

le titre de maître d'œuvre sont les suivantes : les architectes, les géomètres-experts, les bureaux d'études, les ingénieurs conseils, les urbanistes et les paysagistes. Dans le cadre de l'élaboration d'un projet en BIM/CIM, nous constatons que tous ces acteurs vont être indispensables car le géomètre définit l'assiette foncière du projet, l'urbaniste réalise le diagnostic, l'architecte conçoit le projet, les bureaux d'études s'assurent que le projet est réalisable. Les différents corps de métiers nécessaires à la réalisation d'un CIM ouvrent davantage la possibilité de recourir à la cotraitance. Rappelons que la cotraitance est un groupement de maîtres d'œuvre permettant de compléter leurs compétences afin de répondre plus facilement à la commande⁷². La loi MOP pose un principe fondamental qui est de distinguer les missions de maîtrise d'œuvre et celle des entrepreneurs. Posant des difficultés pour la collaboration en BIM, ce principe sera étudié dans la partie suivante.

Par définition, l'**entrepreneur** est la personne physique ou morale chargée par le maître d'ouvrage d'exécuter les travaux, sous la direction du maître d'œuvre⁷³. Ces travaux à réaliser sont définis dans le contrat de louage d'ouvrage envisagé à l'article 1710 du Code civil. A chacun de ces acteurs est associé un coordinateur BIM. Ainsi, il est plus simple pour le CIM Manager et pour le BIM Manager de coopérer directement avec les personnes désignées dans chacune des équipes. L'organigramme de la figure 8, illustre les rapports entre les différents acteurs (es liens contractuels entre les parties seront évoqués dans la partie suivante).

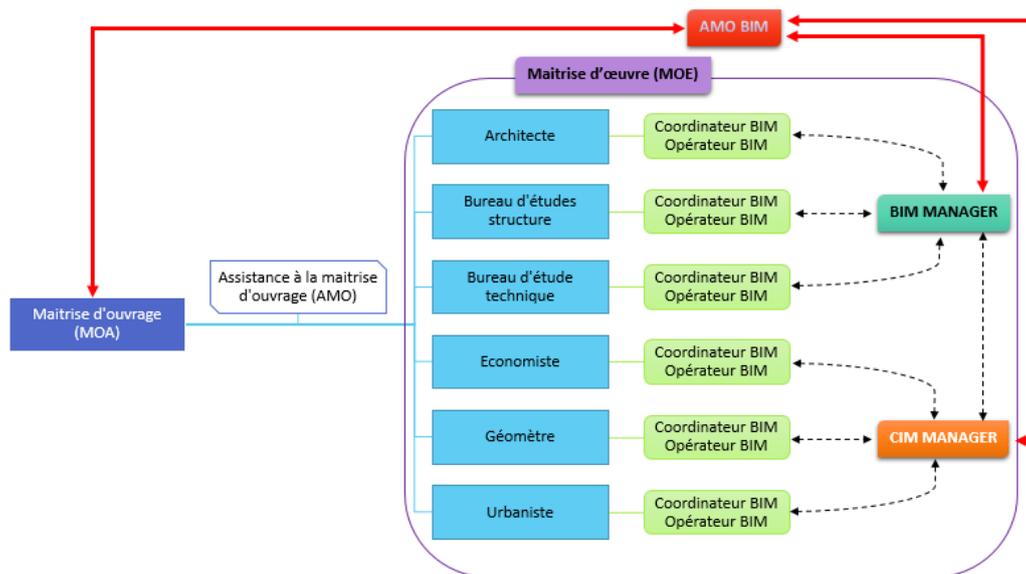


Figure 8 : Organigramme des différents acteurs d'un BIM/CIM (Source : Réalisation Personnelle)

Cet organigramme permet de présenter la gestion en deux temps que demande la réalisation d'un CIM : le BIM Management et le CIM Management. Le nombre conséquent de lien entre les acteurs est la parfaite illustration de la complexité contractuelle d'un projet élaboré en CIM. Voyons en quoi cela consiste réelle.

⁷² (Bellenger et al., 2016)

⁷³ (Bellenger et al., 2016)

I.3.2 Approche critique : la contractualisation d'un projet réalisé en CIM

Semblant mêler à la fois commande publique et droit de la construction la contractualisation d'un projet réalisé en BIM/CIM n'est pas simple. En l'absence de cadre légal, l'intégralité d'un projet d'aménagement doit être contracté, ce qui est à la fois un atout mais aussi une difficulté. David Richard constate dans son article portant sur l'immeuble numérique que « *l'interopérabilité des informations constituant la maquette virtuelle en 3D induit une faculté de collaboration, qui déjoue le schéma classique des acteurs de l'industrie de la construction comme celui du droit* »⁷⁴. Dans un premier temps, la contractualisation du marché/contrat⁷⁵ dépend du point de savoir si le maître d'ouvrage est public ou privé. Comme évoqué précédemment, s'il est privé, il bénéficie du principe de la liberté contractuelle. S'il est public, il contracte à l'aide d'un contrat de commande publique⁷⁶, c'est-à-dire :

- soit les marchés publics définis à l'article 4 de l'ordonnance n°2015-899 du 23 juillet 2015
- soit les contrats de concession définis à l'article 5 de l'ordonnance n°2016-65 du 29 janvier 2016⁷⁷.

La différence réside dans le fait que dans un contrat de concession, le pouvoir adjudicateur ou l'entité adjudicatrice transfère un risque d'exploitation à l'opérateur économique alors que dans un marché public, ce n'est pas le cas. Le juge administratif précise ainsi que l'existence d'un risque assumé par l'opérateur économique « *doit s'apprécier au regard de l'ensemble des stipulations du contrat s'agissant du mode de rémunération retenu, de l'importance des apports et subventions des collectivités publiques, du sort des biens non commercialisés en fin de contrat et des garanties consenties par la personne publique contractante* »⁷⁸. Ainsi, ne résultant pas de risque d'exploitation, les projets d'aménagement semblent être principalement conclus par des contrats de marchés publics. En effet, différents montages contractuels se présentent au maître d'ouvrage : le montage classique régi par la loi MOP, le schéma conception-réalisation et le montage partenariat public privé (PPP). Comment peut-on appréhender le choix du montage contractuel à adopter en fonction de l'interopérabilité des informations contenues dans le modèle 3D et les relations entre les acteurs que cela implique ?

Le **marché de partenariat** est une catégorie spécifique de marché public qui « *permet de confier à un opérateur économique ou à un groupement d'opérateurs économiques une mission globale* »⁷⁹. Un des intérêts pour le maître d'ouvrage de recourir à

⁷⁴ (Richard, 2017)

⁷⁵ Le contrat en droit public est appelé un marché.

⁷⁶ (Direction des affaires juridiques, 2016)

⁷⁷ Il s'agit de la transposition dans le droit français de la directive 2014/23/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2014 sur l'attribution de contrats de concession.

⁷⁸ (Cour Administrative d'Appel de Nantes, 5^{ème} chambre, 02/02/2015, 13NT02139, Inédit au recueil Lebon, 2015)

⁷⁹ Article 67 de l'ordonnance n°2015-899 du 23 juillet 2015

ce montage lorsque son projet est mené en BIM/CIM est le caractère global du contrat. En effet, ce caractère permet de confier plusieurs missions à des stades différents de la réalisation du projet. Cette méthode est en adéquation avec l'interopérabilité des données d'un projet BIM/CIM car le modèle numérique 3D est un modèle central où est répertorié consécutivement les données de chacune des phases. Cependant le maître d'ouvrage public ne peut utiliser ce type de contrat que s'il s'agit d'un financement principalement privé des investissements. L'ordonnance relative aux marchés publics ne prévoit en effet la possibilité pour la personne publique que de participer minoritairement au financement. Or, dans le cadre d'un projet élaboré en CIM, le financement semble être majoritairement public. Donc, ce montage contractuel n'apparaît pas envisageable.

La Loi MOP quant à elle prévoit deux montages contractuels, le schéma classique et le schéma conception-réalisation. Le montage « conception-réalisation » vient répondre à une contrainte que présente le schéma classique consistant à distinguer nécessairement les contrats de maîtrise d'œuvre et d'entreprise(s). L'article 7 de la loi MOP prévoit que « *pour la réalisation d'un ouvrage, la mission de maîtrise d'œuvre est distincte de celle de l'entrepreneur* »⁸⁰. Ainsi, contrairement au montage « conception-réalisation », en montage classique, le maître d'ouvrage devra prendre des dispositions pour prévoir le passage du BIM conception au BIM d'exécution. Le maître d'ouvrage devra fixer « *les modalités selon lesquelles la maquette BIM élaborée en phase conception sera transmise et utilisée par les entreprises, en particulier si elle est transmise à titre uniquement informatif aux entreprises, les obligeant alors à un travail de ressaisie, ou si les entreprises peuvent intégrer directement leurs données dans la maquette conception qui constituera alors le socle du BIM exécution* »⁸¹. Ces deux montages sont envisageables pour des projets d'aménagement réalisés en CIM à la seule différence que le maître d'ouvrage devra ou non prendre des dispositions lors de la programmation. Les deux montages induisent tout de même une interrogation concernant la réalisation des ouvrages d'infrastructures. En effet, le champ d'application de la loi MOP est déterminé selon trois critères cumulatifs : la qualité du maître d'ouvrage, la qualité du maître d'œuvre et la nature des ouvrages⁸². L'article 1^{er} de la loi du 12 juillet 1985 énonce ainsi qu'elle s'applique à « *tous ouvrages de bâtiment ou d'infrastructure ainsi qu'aux équipements industriels destinés à leur exploitation* ». Le quatrième de ce même article précise pourtant que la loi ne s'applique pas « *aux ouvrages d'infrastructure réalisés dans le cadre d'une zone d'aménagement concerté ou d'un lotissement au sens du titre premier du livre III du code de l'urbanisme* »⁸³. Cependant, le conseil d'Etat a jugé que cette exclusion du champ d'application ne faisait pas obstacle à une personne visée par la loi et voulant s'y soumettre volontairement⁸⁴. Donc, les marchés

⁸⁰ Article 7 de la loi MOP

⁸¹ (Bellenger et al., 2016)

⁸² (Pourcel, 2014)

⁸³ (Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée. - Article 1, al.8)

⁸⁴ (Conseil d'Etat, 7/10 SSR, du 8 avril 1998, 167372, mentionné aux tables du recueil Lebon, 1998)

réalisés en CIM pourraient s'appuyer sur un modèle de contractualisation soit classique soit de conception-réalisation selon la loi MOP. Quel que soit le choix du pouvoir adjudicateur concernant le modèle de contractualisation retenu, il devra dans tous les cas respecter les trois principes fondamentaux de la commande publique : la liberté d'accès des informations, l'égalité de traitement et la transparence des procédures⁸⁵. Les procédures de publicité et de mise en concurrence sont des procédures formalisées, négociées, adaptées ou spécifiques. L'application de ces procédures dépend de la nature du pouvoir adjudicateurs, de la nature du contrat et du montant de celui-ci en euros (voir annexe 3).

Comme vu précédemment, en raison des différentes pratiques contractuelles, la rédaction de contrats liant les secteurs du bâtiment, de l'aménagement et du numérique n'est pas toujours facile. Dans le but de concilier ces différents secteurs, la rédaction et la mise en place de contrats supplémentaires semblent impératifs. Dans le cadre de la mission « droit numérique et bâtiment », une première réflexion avait été menée par un groupe de travail (présidé par Xavier Pican) sur ce sujet⁸⁶. Afin de prendre en compte à la fois les transitions numérique et énergétique, le groupe de travail avait proposé la mise en place d'un contrat encadrant spécifiquement le BIM et un second pour les projets à dominante digitale et innovante comme les smart-cities. Pour régir le BIM, deux contrats avaient ainsi été proposés : un premier entre l'éditeur et les utilisateurs et un second contrat conclu entre les différents coopérateurs BIM.

Bien que les acteurs soient déjà en possession des outils nécessaires (logiciels) quand ils répondent à des marchés incluant le BIM, le groupe de travail proposait par mesure de simplicité la conclusion d'un contrat entre l'éditeur du logiciel et le maître d'ouvrage, représentant tous les utilisateurs. Conclu essentiellement pour les acteurs qui en trouvent le besoin, ce contrat permettrait de déterminer, les clauses essentielles d'un contrat de licence et de maintenance, le nombre de licence, le prix, la durée et la résiliation du contrat, la propriété intellectuelle vis-à-vis du logiciel, l'engagement de l'éditeur, les responsabilités et les différentes garanties (voir pour le détail, *infra* I.3.3). Pour un projet réalisé en CIM, il faudrait donc contracter avec les éditeurs autant de fois que de logiciels seraient nécessaires à la réalisation du modèle 3D.

Concernant le second contrat entre les différents coopérateurs BIM, un auteur estime que l'approche adoptée par le Royaume-Uni en proposant une solution contractuelle (Protocole BIM) pour remédier aux incertitudes juridiques soulevées est riche d'enseignements. Selon lui, le protocole BIM est associé au contrat principal et énumère les éléments suivants : une définition des termes clés du BIM, l'ordre de priorité des documents BIM dans la hiérarchie des documents contractuels, les obligations du maître d'ouvrage, le rôle du BIM Manager, les obligations de l'entrepreneur, les obligations du maître d'œuvre, les échanges des données électroniques, l'utilisation de la maquette numérique et les droits de propriété intellectuelle⁸⁷. La diversité des projets d'aménagements et de constructions amène à étudier chacune des possibilités de projet et à réfléchir sur la possibilité réelle de concevoir un

⁸⁵ www.boamp.fr

⁸⁶ (Pican, 2016)

⁸⁷ (Gillion, 2014)

modèle type de contrat au regard des conclusions tirées. Or cela semble impossible (en raison notamment de la diversité des situations) et c'est pourquoi, pour faciliter la démarche, le groupe de travail a opté en réalité sur la possibilité de mettre en place un référentiel contractuel restreignant au minimum la liberté contractuelle. Selon le groupe de travail de Pican, « *Les clauses qui devront figurer au sein du référentiel seraient à minima les suivantes :*

- *Définitions des termes essentiels du contrat : Logiciel BIM, maquette numérique etc. ;*
- *Obligations des acteurs de la maquette : répartition des rôles entre les acteurs sans oublier la répercussion des obligations et responsabilités de l'éditeur de logiciel ;*
- *Gestion des données : accès aux données, intégration de nouvelles données, modifications des données, suppression des données ;*
- *Propriété de la maquette : en fonction du niveau de BIM utilisé*
- *Utilisation de la maquette : utilisation dans la phase d'amont et dans la phase d'aval : utilisation et diffusion par les acteurs de la maquette dans le temps et éventuellement prévoir l'entrée de nouveaux acteurs ;*
- *Propriété intellectuelle (précisément dans la partie 2.1.2) : en fonction du niveau de BIM utilisé, prévoir la propriété de la maquette et les licences d'utilisation. Il convient également de réfléchir à la possibilité de concéder des licences d'utilisation à des tiers non partis au contrat ;*
- *Responsabilité : répartir la responsabilité des acteurs en fonction de leur contribution et prévoir également des plafonds de responsabilité ;*
- *Garantie : chaque acteur doit garantir que sa contribution et que le contenu intégré dans la maquette sont originaux et n'enfreignent pas les droits de tiers et assurer une utilisation paisible de sa contribution et du contenu aux autres acteurs de la maquette ;*
- *Assurance : revoir les clauses d'assurance contractuelle, obligation de souscrire une police d'assurance adaptée, de conférer un accès à l'assureur et à l'expert ;*
- *Données personnelles : respect de la loi informatique et libertés et des obligations CNIL par chaque acteur. »⁸⁸*

La comparaison de ces deux listes exhaustives laisse penser que le groupe de travail a opté pour un contenu plus complet en ajoutant les différentes responsabilités, les assurances et le respect des données personnelles désirant que ce complément de clauses assure une meilleure sécurité juridique. L'extension de la contractualisation du BIM au CIM, nécessitera, en principe, une adaptation en étendant ces clauses à l'échelle du territoire. La précision des champs d'application des contrats ne semble pas rendre facile la démarche. En revanche n'apparaît pas impossible pour autant.

En revanche la complémentarité que présentent les smart-cities et le CIM impliquerait, selon le groupe de travail, de prévoir un troisième contrat portant sur le numérique et

⁸⁸ (Pican et al., 2016)

l'aménagement du territoire. La mise en place d'un tel contrat suscite toutefois de nombreuses interrogations non résolues à ce jour telles que :

« L'adaptation des réseaux (construction, exploitation et maintenance) aux nouveaux projets qui nécessitent une connectivité forte et nécessairement une sécurité intrinsèque des données circulant dans la Smart City ?

– Quels sont les rôles et les responsabilités des acteurs (promoteur, entité publique, opérateur de réseaux, fournisseurs d'énergie, startup innovante et utilisateurs) ?

– Qui est propriétaire et qui est simple utilisateur des données générées par ces projets immobiliers innovants ? La quantité impressionnante de données générées conduit à une valorisation importante et accroît les risques pour la protection de la vie privée des utilisateurs dudit projet.

– Aujourd'hui et à l'avenir, l'achat d'un bâtiment revient à l'achat de données, comment les professionnels de l'immobilier peuvent-ils les valoriser ? »⁸⁹

Ici, la proposition d'un référentiel contractuel ne va pas de pair avec la diversité des projets immobiliers innovants et c'est pourquoi le groupe de travail énonce le caractère favorable à la proposition d'un clausier. En effet, le clausier en présentant les éléments et les modalités du contrat- permettrait d'orienter les acteurs quant à la formation de celui-ci.

Comme précisé ci-dessus, les contrats se doivent de mentionner les engagements et les responsabilités des acteurs au projet pour assurer une sécurité juridique. Plus précisément, quels sont ces engagements et responsabilités ?

I.3.3 Transversalité : responsabilités et engagements des acteurs d'un projet CIM

La nature collaborative de cette nouvelle méthode de travail impacte les traditionnels schémas contractuels de la construction et de la commande publique (vus ci-dessus) ainsi que les engagements et les responsabilités des acteurs qui en découlent. Le retard que présente la France quant au développement du BIM est, en autres, en raison des risques juridiques que celui-ci provoque. C'est l'une des raisons pour lesquelles l'adoption du BIM se fait difficilement par certains acteurs du BTP⁹⁰. Pourtant, la complexité juridique qu'expose la collaboration du processus BIM émanent de ses différents niveaux (0, 1, 2 et 3). Cela ne semble être moins problématique pour les niveaux de BIM 0 et 1 car la collaboration est absente. Pour ces deux premiers niveaux, les risques s'apparentent aux responsabilités classiques d'une opération de construction ou d'aménagement. En revanche, ces mêmes responsabilités seront à adapter pour les niveaux de BIM 2 et 3 en prenant en compte le processus collaboratif.

⁸⁹ (Pican et al., 2016)

⁹⁰ www.objectif-bim.com

Etre responsable, c'est avoir « l'obligation de réparer le préjudice résultant soit de l'inexécution d'un contrat, soit de la violation du devoir général de ne causer aucun dommage à autrui par son fait personnel [...] »⁹¹. Selon David Richard, de nombreuses voies peuvent être empruntées pour décrire l'obligation de rendre compte des dommages occasionnés par le ou les professionnels d'un projet BIM⁹². L'assimilation du BIM à un projet de construction laisse penser que les responsabilités des constructeurs pourraient être envisagées. Or, cela implique-t-il forcément que les professionnels d'un projet mené en BIM soient identifiés comme des constructeurs ? Dans son article, l'auteur constate qu'au regard de l'article 1792-1 du Code civil, l'acteur BIM n'est pas énuméré dans la liste du deuxième alinéa du texte : « [...] *Tout architecte, entrepreneur, technicien ou autre personne liée au maître de l'ouvrage par un contrat de louage d'ouvrage ;* »⁹³. En revanche la précision qu'énonce la fin de cet alinéa, qu'il peut s'agir d'une « *autre personne liée au maître d'ouvrage par un contrat de louage d'ouvrage* » émet une possibilité pour l'acteur BIM d'être considéré comme un constructeur. David Richard poursuit sa réflexion et constate que pour certains professionnels (contrôleurs techniques, coordonnateurs santé sécurité, et assistant à la maîtrise d'ouvrage) le doute persiste. Il semble donc opportun d'apporter une précision quant à la qualité de constructeur pour les acteurs BIM. Afin de mesurer les obligations et les responsabilités de chacun il est indispensable qu'elles soient définies et décrites précisément. Aujourd'hui, en l'absence de dispositions législatives propres au BIM ceci est déterminé contractuellement (I.3.2).

En plus **des responsabilités dites de droit commun** (contractuelle, délictuelle et pénale), pour les acteurs considérés comme constructeurs, s'ajoutent **les responsabilités spécifiques de constructeurs** dites aussi garanties légales. Les garanties légales comprennent la garantie décennale⁹⁴, la garantie de parfait achèvement⁹⁵ et la garantie de bon fonctionnement⁹⁶ (biennale). C'est la date de réception de l'ouvrage qui donne le point de départ de ces trois garanties (Figure 9 supra).

⁹¹ Lexique des termes juridiques, Dalloz, 2014

⁹² (Richard, 2017)

⁹³ (Code civil - Article 1792-1)

⁹⁴ Article 1792 du code civil : « *Tout constructeur d'un ouvrage est responsable de plein droit, envers le maître ou l'acquéreur de l'ouvrage, des dommages, même résultant d'un vice du sol, qui compromettent la solidité de l'ouvrage ou qui, l'affectant dans l'un de ses éléments constitutifs ou l'un de ses éléments d'équipement, le rendent impropre à sa destination.* »

⁹⁵ Article 1792-6 alinéa 2 du code civil : « *La garantie de parfait achèvement, à laquelle l'entrepreneur est tenu pendant un délai d'un an, à compter de la réception, s'étend à la réparation de tous les désordres signalés par le maître de l'ouvrage, soit au moyen de réserves mentionnées au procès-verbal de réception, soit par voie de notification écrite pour ceux révélés postérieurement à la réception.* »

⁹⁶ Article 1792-3 du code civil : « *Les autres éléments d'équipement de l'ouvrage font l'objet d'une garantie de bon fonctionnement d'une durée minimale de deux ans à compter de sa réception.* »

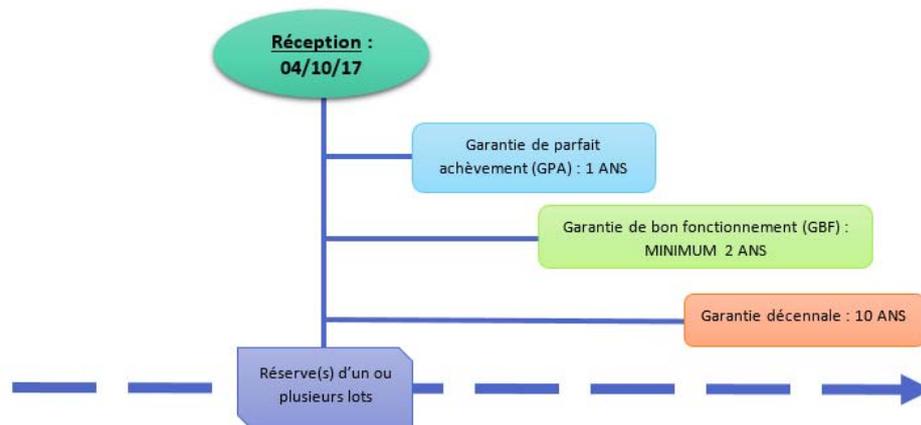


Figure 9 : Délais des différentes garanties de constructeur (Source : Réalisation personnelle)

A défaut de ne pouvoir appliquer ces trois garanties, les responsabilités civiles s de droit commun s’y substitueront (si les conditions sont réunies).

- **La responsabilité contractuelle de droit commun :**

Elle suppose, par définition, l’engagement des parties par des liens contractuels et la défaillance de l’une dans l’exécution des obligations et engagements en découlant⁹⁷.

Selon l’article 1792-4-3 du Code civil, les actions en responsabilité contractuelle de droit commun « se prescrivent par dix ans à compter de la réception des travaux »

- **La responsabilité délictuelle des constructeurs :** Cette responsabilité se met en place lors que les deux parties ne sont pas liées par un contrat.
- **La responsabilité pénale des constructeurs :** Celle-ci est engagée en cas de commission d’infractions, d’un trouble à l’ordre public⁹⁸.

La question se pose alors de savoir comment s’étendent les responsabilités d’un projet de construction « classique » à un projet de collaboration BIM (niveau 2 et 3) ?

Même si, par définition (champ d’application, conditions, régime), les responsabilités restent les mêmes, il convient de les appréhender différemment, notamment selon les phases de projet et selon les intervenants. Comme énoncé dans la partie I.3.2, il paraît primordial de définir contractuellement, de manière précise et détaillée les missions confiées à chacun des acteurs et cela en fonction des différentes phases. Après consultation d’un contrat type⁹⁹ établi par la mutuelle des architectes français, on pourrait proposer de détailler l’intervention qu’a un acteur lambda, en tout ou partie durant le processus BIM. Selon les différentes phases, un référencement des missions peut être fait à l’aide d’un préfixe et d’un numéro d’incrémentation. Pour l’architecte cela pourrait donner En phase conception : ARCH1 :

⁹⁷ (Bellenger et al., 2016)

⁹⁸ (Bellenger et al., 2016)

⁹⁹ (MAF)

mission 1, ARCH2 : mission 2, ARCH3 : mission 3 ... Ainsi, il semble plus facile de repérer les responsabilités engagées pour chacune des missions détaillées. De plus, « *les phases de collaboration doivent être identifiées et décrites dans leurs objectifs, leurs modalités et leur fonctionnement. Les responsabilités seront en effet encourues au regard de cette réalité de contribution.* »¹⁰⁰

Comme le BIM Manager est missionné pour la gestion de la collaboration des différents acteurs, n'est-ce pas à lui d'assumer toutes responsabilités en cas de désordre relevant des phases collaboratives ?

De plus, « *la jurisprudence relève que les acteurs professionnelles de la construction on, au titre de leurs engagements et de leur qualité, une obligation de conseil* »¹⁰¹. Le caractère collaboratif du BIM amplifie le devoir de conseil de chacun des acteurs envers les autres. Coordonnant le projet, le BIM Manager est l'acteur devant le plus répondre de ce devoir de conseil et cela pour la conception, l'exécution et l'exploitation de l'ouvrage.

Ces responsabilités s'appliquent -elle à tous les ouvrages que comporte un projet CIM ?

En droit privé comme en droit public, les responsabilités légales s'appliquent essentiellement aux ouvrages. Il importe de savoir plus particulièrement ce qu'est qualifié d'**ouvrages**. Conformément à l'article 1792 du Code civil, un ouvrage est un bâtiment, un édifice ou un ouvrage de génie civil (routes, infrastructure)... L'article ne précise pas expressément si les divers réseaux de travaux publics entrent dans cette catégorie. Hélène Bernardin dans sa thèse¹⁰² a étudié l'évolution de la qualification de l'ouvrage de VRD¹⁰³ ; Elle conclut que celui-ci « *est soumis, en tant que tel, à la responsabilité spécifique des constructeurs. La distinction entre ouvrages de bâtiment et ouvrage de génie civil, dont la consécration en droit des assurances peut faire l'objet de critiques, reste sans incidence sur la responsabilité.* » (Bernardin, 2010, pages 210-211). Or, un autre auteur précise¹⁰⁴, que la garantie de bon fonctionnement « *couvre les désordres qui affectent les éléments d'équipement d'un ouvrage dissociables des ouvrages de viabilité, de fondation, d'ossature, de clos de couvert.* ». Un élément est considéré comme dissociable lorsque séparé du support, il ne cause aucune détérioration. Ainsi, les ouvrages de VRD n'étant pas tous dissociables, la garantie de bon fonctionnement n'aura pas toujours vocation à s'appliquer.

Quelles responsabilités sont à prévoir par rapport à la Smart-City, plus particulièrement concernant l'utilisation des données et des nouvelles technologies ?

¹⁰⁰ (Bellenger et al., 2016, p.60)

¹⁰¹ (Bellenger et al., 2016, p.70)

¹⁰² (Bernardin, 2010)

¹⁰³ Voiries et réseaux divers

¹⁰⁴ (Laroche, 2017)

Pour finir, quant aux projets de construction et aux projets urbains novateurs répondant aux critères de la smart-city, l'intégration des nouvelles technologies et l'utilisation des données sont à prendre en compte en matière de responsabilités et de garanties.

Pour les nouvelles technologies, des garanties telles que la garantie de conformité, d'évolutivité ou d'interopérabilité pourront être engagées. Les données partagées sont protégées par les droits de propriété intellectuelle, et des textes de loi. Parmi ces textes, on retrouve notamment la loi du 7 octobre 2016 pour une république numérique¹⁰⁵ et dernièrement le règlement européen 2016/679 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, abrogeant la directive 95/46/CE (règlement général sur la protection des données).

Bien que l'aspect réglementaire du BIM effraye encore certains professionnels, nous avons pu voir que son encadrement juridique pouvait s'appréhender contractuellement. Pour autant, les acteurs doivent rester vigilants en élaborant précisément leur(s) contrat(s) et en accomplissant leurs missions telles que définies. Tout désordre ou manquement de la part d'un acteur entraînera un contentieux dans lequel sera engagée une des responsabilités de l'acteur concerné.

Comme nous avons pu le voir à travers cette première partie, l'étendue de la méthode BIM à l'échelle du territoire semble indispensable pour répondre aux objectifs de la démarche « smart-city ». De plus en plus mis en place en France depuis 2005, le BIM de niveau 2 reste encore à déployer pour atteindre l'OpenBIM (Niveau 3). Ces deux outils présentent de nombreuses similitudes, plus particulièrement sur l'approche collaborative. De ce fait, leur complémentarité sera étudiée en deuxième partie. La smart city est-elle une source de données pour l'élaboration de projet CIM ? (II.1) Et inversement comment un modèle 3D réalisé en BIM pour une smart city peut-être utile ? (II.2)

¹⁰⁵ (« Dossiers législatifs - LOI n° 2016-1321 du 7 octobre 2016 pour une République numérique | Legifrance »)

II CIM et Smart City, complémentarité de deux outils pour une finalité commune

Nous avons pu constater que le CIM et la Smart-city tentaient de répondre à des objectifs communs : collaboration, planification et optimisation des futurs projets d'aménagement durable, de façon à appréhender le mieux possible l'accroissement de population mondiale et la consommation des ressources naturelles. L'objet de cette partie porte sur l'interaction entre ces deux outils. L'utilisation des données urbaines contenues par une smart-city s'avère-t-elle indispensable à l'élaboration d'un projet d'aménagement CIM (II.1) ? La modélisation d'un modèle 3D CIM est-elle un préalable à la démarche « smart-city » (II.2) ?

II.1 La Smart-City : un puit de ressources intéressant

La méthodologie du processus CIM, nécessite en amont de recueillir diverses informations (urbaines, foncières et techniques...) pour asseoir le projet. Comme évoqué dans la précédente partie, la smart-city est génératrice de données appelées données urbaines. D'après Maximilien Lanna « *une donnée a vocation à recevoir la qualification de « donnée urbaine » en fonction d'un critère territorial : celui de la ville, composé d'espace publics et privés* »¹⁰⁶. Les données urbaines aussi diverses et variées qu'elles soient peuvent-elles être utiles à l'élaboration d'un projet CIM (II.1.1)? Comme pour un projet mené en BIM, le modèle CIM se réalise selon un phasage précis : phase concours, phase études, phase conception et phase exploitation. Pour chacune de ces phases les données urbaines ont leurs utilités : nous verrons comment en phase études le modèle CIM se les approprie (II.1.2). Etant encore en phase étude, le premier CIM de France ne permet pas de nous montrer ses avantages en phase chantier : Sommes-nous capables de les envisager (II.1.3) ?

II.1.1 Un support de communication et d'aide à la décision remarquable

« *La donnée dans la mise en place de la smart city est considérée en effet comme cruciale pour le développement, la structuration, la réalisation et la gouvernance de celle-ci* »¹⁰⁷. La donnée urbaine est un concept flou et qui est de ce fait basé sur le big data. Le big data est la traduction française de données massives. Ainsi, ce terme ne s'applique que si les données sont assez volumineuses, variées et mises à jour¹⁰⁸. Les données urbaines sont produites par les services publics, les administrations et par le citoyen lui-même. Selon le type de personne qui est à l'origine de la donnée, celle-ci sera qualifiée soit :

- de **donnée publique** : Il s'agit des données produites par l'administration et les services publics. Ces données sont assimilées à l'open data désignant la mise à disposition de données publiques gratuites et dans des formats ouverts permettant la

¹⁰⁶ (Auby & De Gregorio, 2017, Propriété des données urbaines, entre droit de la personnalité et données ouvertes, p.145)

¹⁰⁷ De gregorio intro page 13

¹⁰⁸ (Priol, 2017)

réutilisation de ces données¹⁰⁹. L'open data a été initié par la loi CADA¹¹⁰ et renforcé par la loi pour une République numérique¹¹¹;

- de **donnée privée** : il s'agit des données détenues par des établissements privés. La loi pour une République numérique a introduit dans les articles 17 à 24 la notion juridique de « donnée d'intérêt général ». Cependant, l'interrogation quant au bénéfice que les collectivités pourraient tirer des données privées d'intérêt général n'est pas résolue. Luc Belot dans son rapport sur les smart city propose qu'il faudrait dans un premier temps réaliser un recensement des données d'intérêt général concernées par les lois transition énergétique et République numérique puis de prévoir l'accès de ces données aux collectivités, à titre gratuit ou non¹¹² ;
- de **donnée personnelle** : selon l'article 9 de la loi n°2018-493 du 20 juin 2018 relative à la protection des données personnelles, mise à jour de la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, une donnée personnelle est considérée comme étant « [...] toute information relative à une personne physique identifiée ou qui peut être identifiée, directement ou indirectement, par référence à un numéro d'identification ou à un ou plusieurs éléments qui lui sont propres. Pour déterminer si une personne est identifiable, il convient de considérer l'ensemble des moyens en vue de permettre son identification dont dispose ou auxquels peut avoir accès le responsable du traitement ou toute autre personne. »¹¹³ ;

La place centrale de l'utilisateur, l'entraîne lorsqu'il bénéficie d'un des services de la ville, à laisser des données personnelles. Ces données personnelles sont protégées par un droit fondamental : le droit de la personnalité. La protection de ces données personnelles a vocation à s'appliquer au domaine des smart-cities¹¹⁴. En outre, ces données sont exclues de l'Open data.

Ce dernier représente un enjeu certain dans l'aménagement du territoire. Il vise à mieux comprendre les phénomènes d'un territoire et les comportements de ses habitants ou usagers¹¹⁵. Voyons comment ces données peuvent être utiles en phase de programmation et de conception d'un projet CIM.

La communication a certes une place importante dans la société pourtant elle n'est pas perçue de la même façon par chacun d'entre nous. Certains l'utilisent comme un outil de marketing tandis que d'autres comme un outil de médiation pour faire évoluer la société et

¹⁰⁹ (« L'ouverture des données publiques », 2017)

¹¹⁰ (Loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 portant diverses mesures d'amélioration des relations entre l'administration et le public et diverses dispositions d'ordre administratif, social et fiscal, s. d.)

¹¹¹ (« Dossiers législatifs - LOI n° 2016-1321 du 7 octobre 2016 pour une République numérique | Legifrance »,)

¹¹² (Belot, 2017, p. 9)

¹¹³ (Loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés - Article 2)

¹¹⁴ (Auby & De Gregorio, 2017, "(Auby & De Gregorio, 2017, Propriété des données urbaines, entre droit de la personnalité et données ouvertes" Maximilien Lanna, p. 149)

¹¹⁵ (Belot, 2017, p. 109)

garantir la cohésion sociale. En matière d'aménagement du territoire, la communication est d'abord utilisée par les acteurs publics pour débattre et échanger avec les citoyens. Le processus collaboratif que présente le BIM implique une valorisation de la communication entre les acteurs « dans le but de fédérer les différents intervenants de la production de la ville autour d'un projet commun, de mettre en valeur l'action et d'en débattre avec ses destinataires (populations locales, usagers) »¹¹⁶.

Le développement du numérique permet de se représenter l'espace urbain plus facilement. Des ateliers d'urbanisme à la réalité augmentée, en passant par la réalisation de modèles 3D BIM/CIM, le changement est considérable. Ces nouveaux outils permettent aux collectivités locales d'être plus proches des citoyens et de souligner l'importance de la participation citoyenne. Régi par l'article 7 de la charte constitutionnelle de l'environnement et imposé par les ordres juridiques internationaux et européens¹¹⁷, le principe de participation du public est fondamental. C'est grâce à ces procédures de participations que les habitants peuvent faire part de leur enthousiasme ou de leur mécontentement face au projet proposé. Aidé par les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC – sites internet, Web mapping, application immersive), la difficulté de mise en œuvre de ces procédures, notamment en matière de convocation est facilitée et plus efficace. Cette sous-partie sera illustrée à l'aide du projet de réaménagement des quais de Vannes, projet sur lequel j'ai eu la chance de travailler lors de mon stage (Annexe 4).

Lors de la phase concours d'un projet, le support 3D pour aider à la communication est devenu un incontournable. Sa réalisation demande des connaissances en divers domaines (SIG, conception 3D, urbanisme, géodésie, topographie, design, programmation, création visuelle...) et de savoir utiliser différents logiciels. Parfois plusieurs personnes sont indispensables pour mener à bien cette outil de visualisation (par exemple pour le projet de Vannes, cinq personnes sont intervenues (un géomètre (moi-même), un designer, deux développeurs, et une architecte)). Conformément au principe d'ouverture des données publiques que pose la loi pour une République numérique, la collectivité met à disposition des données dans le dossier de consultation des entreprises (DCE). L'ouverture des données en marchés publics progressent et cela grâce au développement des Smart cities. En effet la loi pour une république numérique¹¹⁸ joue un rôle majeur quant à l'ouverture des données publiques en France. Comme vu précédemment, le terme données urbaines englobe divers types de données (privées, personnelles, ouvertes...) mêlant à la fois des données des secteurs publics et privés. Ainsi, le type induit la nature juridique de ces données ainsi que la limite de leur réutilisation.

En l'absence de textes législatifs et réglementaires traitant directement les smart cities, il s'agit des textes relatifs aux données, citées ci-dessus qui ont vocation à s'appliquer.

Dans le cadre du projet de Vannes, la demande de Nexity, représentant du groupement, était de réaliser une maquette numérique urbaine immersive et réaliste permettant de visualiser la zone projet et ses environs immédiats en s'appuyant sur les données mises à disposition dans

¹¹⁶ (Bailleul, 2009)

¹¹⁷ (« Le cadre de la participation du public au titre du code de l'environnement », 2018)

¹¹⁸ (« Dossiers législatifs - LOI n° 2016-1321 du 7 octobre 2016 pour une République numérique | Legifrance »)

le dossier de consultation des entreprises (DCE). Les données dont nous disposions étaient : des plans topographiques, une orthophoto, des documents d'urbanisme et de MNT. La définition de la précision était définie selon trois zones (Annexe 4).

Nombreux et divers sont les logiciels aujourd'hui sur le marché. Ils permettent d'appréhender différentes méthodologies de réalisation. Pour ma part j'ai réalisé la topographie du terrain, la configuration des routes, les ouvrages d'infrastructures, les bâtiments des environs immédiats et l'identification des espaces verts à l'aide d'Autodesk Infravorks. Plus particulièrement j'ai élaboré la base de modélisation à partir de la fonction « Model Builder » (Figure 10).

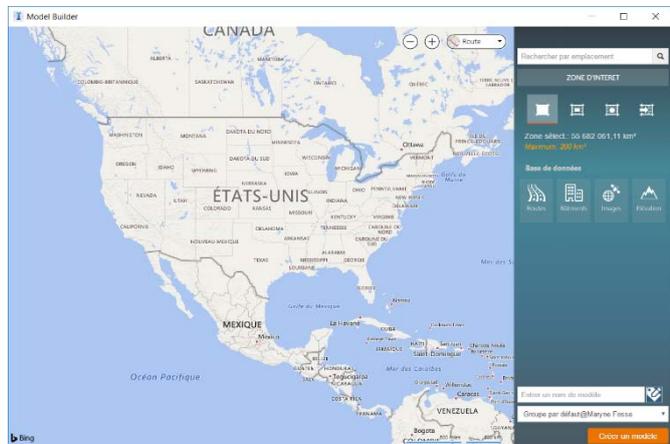


Figure 10 : Aperçu de la fonction « Model Builder » d'Autodesk Infravorks

Cette fonction consiste à utiliser des données urbaines ouvertes à partir desquelles est réalisé le modèle 3D. La principale source de « Model Builder » est OpenStreetMap¹¹⁹ (OSM). La modélisation 3D peut ensuite être améliorée. D'une part, à l'aide des fonctions que possède Autodesk Infravorks et d'autre part en y important des données complémentaires. Par exemple, pour le projet de Vannes, j'ai ajouté un modèle de terrain précis à +/- 10m au format .TIFF (Figure 12). Autodesk Infravorks permet d'importer de nombreux types de fichiers en revanche ses formats d'export sont restreint.

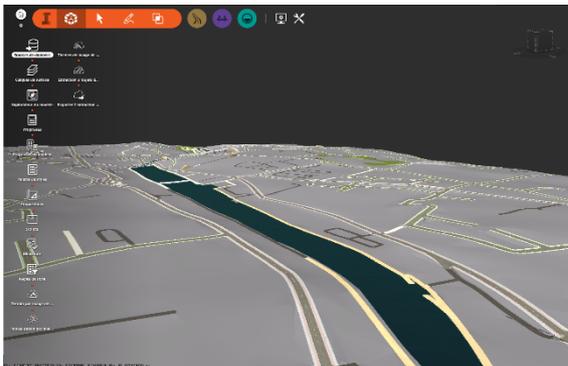


Figure 11 : Modélisation du terrain tiré OSM

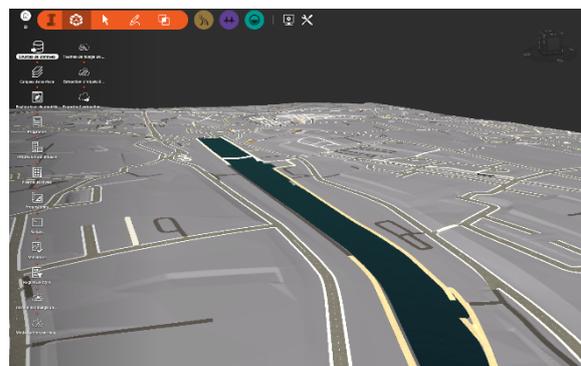


Figure 12 : Optimisation de la modélisation à l'aide d'un MNT plus précis

Les plans topographiques mis à disposition dans le DCE n'ont pas pu être exploités pour obtenir un maillage du terrain plus précis car ils étaient géoréférencés autrement.

¹¹⁹ OSM est un SIG collaboratif. Ils collectent des données cartographiques dans le monde entier de la topographie des lieux, des axes de communication, des cours ou étendue d'eau, des bâtiments... Alimenté par de nombreux bénévoles les données OSM sont généralement les plus à jour.

Concernant la modélisation des routes et des ouvrages routiers, elle est réalisée par défaut à partir des axes de circulation enregistré dans OSM. Afin d'obtenir une modélisation plus fine l'utilisation des outils d'Autodesk Infracore permettant d'agir sur l'altimétrie, la configuration (sens unique ou double sens), la composition (trottoir, piste cyclable, bordure, caniveau...) et les caractéristiques (nom de la route, revêtement, vitesse de circulation, largeur...) de la route. Cette modélisation plus fine permet de se rapprocher au mieux de la réalité (Figure 13 et 14).



Figure 14 : Modélisation brute des routes tirées d'Autodesk Infracore



Figure 13 : Modélisation affinée des routes tirées d'Autodesk Infracore

Le niveau de détail du modèle s'intensifie plus on s'approche de la zone projet. Concernant les bâtiments, la réalisation a été réalisée à l'aide de deux logiciels : Autodesk Infracore et Autodesk 3DS Max. N'étant pas un logiciel de modélisation architecturale, Autodesk Infracore produit essentiellement des bâtiments LOD 1 en effectuant une extrusion de la surface d'emprise du bâtiment par rapport à la hauteur moyenne indiquée dans la base de données OSM. N'ayant aucune incidence sur le projet, les bâtiments des environs immédiats ont été réalisés de cette façon pour gagner du temps. En outre, les bâtiments existants se trouvant dans la zone projet ont été modélisés en LOD 2 sur Autodesk 3DS Max afin de modéliser plus finement le toit et les ouvertures du bâtiment (Figure 15).



Figure 15 : visualisation des bâtiments LOD 1 et des bâtiments LOD 2

Les données sont exportées au format FBX¹²⁰ et assemblées en un seul fichier sur ®Autodesk 3DS Max. Pour finir, il faut exporter encore une fois, au format FBX, la totalité du projet. Cette opération permettra de faciliter l'import dans ®Unity et de créer l'application. La réalisation d'une application immersive demande de la rigueur et de la coopération entre les acteurs. En effet, la maquette 3D est pour l'architecte ou l'urbaniste, un support d'aide intéressant pour l'établissement du diagnostic du territoire. Elle permet notamment de visualiser la configuration altimétrique du terrain à travers une colorisation du modèle numérique de terrain. Le diagnostic est inséré dans l'application à l'aide de différents points de vue (incluant des photos) et d'éléments graphiques. Si la photographie présente des personnes ou des voitures, il faut veiller à retoucher la photographie en appliquant des zones de flou sur les visages et sur les plaques d'immatriculation. En effet conformément à l'alinéa premier de l'article 7 du Code Civil « *chacun a droit au respect de sa vie privée* » et possède un droit de la personnalité. Ce « droit au respect de la vie privée » permet plus particulièrement à toute personne d'avoir un droit exclusif sur son image et l'utilisation qui en est faite. Le traitement des photos est donc indispensable.

L'application immersive (Figure 16 et 17) permet aux différents acteurs du projet mais également aux citoyens de se projeté dans l'environnement concerné et de soulever plus vite leurs interrogations. Ces interrogations peuvent être recueillies à l'aide de registres divers ou en open data à l'aide d'un dispositif de collecte et d'analyse d'opinions des citoyens sur le projet exposé. Pour le projet de Vannes, la réalité virtuelle aurait permis d'intensifier l'immersion cependant la collectivité souhaitait un support visualisable sur ordinateur. La gestion de la taille des données incluses dans ®Unity a fait partie intégrante de notre travail de façon à assurer la fluidité de l'application.



Figure 16: Aperçu de l'application immersive de Vannes - Existant

¹²⁰ Définition de ce format d'échange



Figure 17: Aperçu de l'application immersive de Vannes - Projet

Pouvant être composée de données urbaines privées et publiques, comment peut-on appréhender la gestion et la propriété de modèle 3D numérique et plus particulièrement de cette application immersive ? Le contrat de marchés publics qu'unis les acteurs laisse penser que le propriétaire du modèle 3D numérique est le maître d'ouvrage et que l'application immersive appartiendrait à la collectivité territoriale de Vannes. Cependant, le modèle fédéré est l'aboutissement de productions de différents auteurs. Voyons alors si chacun d'entre eux conserve des droits d'auteur dessus.

En droit français, le code de la propriété intellectuelle (CPI) distingue la propriété littéraire et artistique (droit d'auteur) de la propriété industrielle (dessins et modèles, brevets et marques)¹²¹. Nous nous attarderons principalement sur l'application du droit d'auteur aux projets de construction et d'aménagement.

Par définition, le droit d'auteur est « *la prérogative attribuée à l'auteur d'une œuvre de l'esprit (écrits, conférences, œuvres dramatiques, chorégraphiques, cinématographiques, graphiques, phonographiques, logiciels...).* Le droit d'auteur comporte un droit pécuniaire (droit de tirer profit de l'œuvre) et un droit moral¹²². On peut se demander maintenant ce qu'est qualifié d'auteur et ce qu'est qualifié d'œuvre d'esprit ? Dans un premier temps, une œuvre est qualifiée d'« œuvre d'esprit » par rapport au caractère personnel et particulier qu'en apporte l'auteur. Deuxièmement est qualifié d'auteur : la personne à l'origine de la formalisation originale d'une création de l'esprit. D'après l'article L. 111-1, alinéa 1^{er} du code de la propriété intellectuelle, « *L'auteur d'une œuvre de l'esprit jouit sur cette œuvre, du seul fait de sa création, d'un droit de propriété incorporelle exclusif et opposable à tous* ».

¹²¹ (Bellenger et al., 2016, p.93)

¹²² Lexique des termes juridiques (2014), Dalloz

Cela veut dire que l'auteur n'a aucunement besoin de réaliser une démarche administrative pour déclarer son œuvre afin de pouvoir jouir de ce droit d'auteur.

Interrogeons-nous maintenant se savoir si les projets de construction et d'aménagement sont considérés comme « œuvre d'esprit ». Les œuvres pouvant bénéficier de la protection du droit d'auteur sont énumérées à l'article L. 112-2 du code de la propriété intellectuelle.

Art. L.112-2 : « *Sont considérés notamment comme œuvres de l'esprit au sens du présent code:*

6° Les œuvres cinématographiques et autres œuvres consistant dans des séquences animées d'images, sonorisées ou non, dénommées ensemble œuvres audiovisuelles;

7° Les œuvres de dessin, de peinture, d'architecture, de sculpture, de gravure, de lithographie ;

8° Les œuvres graphiques et typographiques ;

9° Les œuvres photographiques et celles réalisées à l'aide de techniques analogues à la photographie ;

10° Les œuvres des arts appliqués ;

11° Les illustrations, les cartes géographiques ;

12° Les plans, croquis et ouvrages plastiques relatifs à la géographie, à la topographie, à l'architecture et aux sciences ;

13° Les logiciels, y compris le matériel de conception préparatoire ; »

Cet article spécifie que les « plans, croquis et ouvrages plastiques relatifs à la géographie, à la topographie, à l'architecture [...] » peuvent bénéficier des droits d'auteurs en revanche qu'en est-il des maquettes numériques 3D ? L'architecte, le géomètre et l'urbaniste bénéficient-ils de leur droit d'auteur essentiellement sur les plans qu'ils produisent et non sur la traduction qui en est faite ? Ces précisions seront semble-t-il à spécifier contractuellement. De plus, lors d'un projet réalisé en BIM/CIM il sera un important de bien distinguer chacune des missions des acteurs afin de savoir à qui et sur quoi peut exactement être attribué le droit d'auteur. Supposons que l'application immersive de Vannes soit qualifiée de logiciel étant donné que c'est un exécutable, SXD pourrait bénéficier de ses droits d'auteurs sur cette œuvre.

II.1.2 Un outil d'études multiples et complexes

Comme nous l'avons introduit ci-dessus, le CIM par sa riche composition en données, comprend parmi ses usages les études et les simulations à échelle urbaine. Ces études ont différents buts tels qu'assurer le confort et la sécurité des citoyens dans un environnement sain.

Destinées aux professionnelles et aux experts, les études réalisées à l'aide d'outils de visualisation 3D notamment en BIM/CIM sont prometteuses. Jean Louis Missika, maire adjoint en charge de l'urbanisme, de l'architecture, des projets du Grand-Paris du développement économique et de l'attractivité, ville de Paris, a évoqué lors de son intervention au BIM World 2018, que Paris allait lancer en 2018 la dématérialisation du permis de construire. D'après lui, « *l'instruction des permis de construire se fera certainement à travers le BIM comme outil de dialogue entre le pétitionnaire et*

l'administration ». En matière d'urbanisme et d'aménagement, l'étude choix du terrain où asseoir le projet porte sur divers documents à commencer par le plan local d'urbanisme (PLU) accompagné de son règlement. Le PLU est maintenant disponible pour certaines villes en open data, la consultation est ainsi plus aisée. Pour affiner l'analyse il est possible de visualiser les zones des différents secteurs d'activités (commercial, habitation, industriel), mais aussi le type de logement (collectif, individuel, sociaux ou non). Les plans de prévention des risques sont aussi des critères à prendre en compte. Toutes ces emprises sont modélisables en 3D afin de les intégrer au modèle 3D et de faire une synthèse quant au choix de l'emplacement du projet.

Plus précisément il s'agira ensuite d'estimer la capacité foncière d'une ou plusieurs parcelles. La capacité foncière d'une parcelle dépend du règlement d'urbanisme (hauteur des constructions, prospects, emprise au sol...) en vigueur ainsi que des règles régies par le droit de la propriété (recul des plantations, distance de recul des vues...). La prise en compte de ces différentes contraintes permettra de modéliser en 3D la volumétrie maximale que peut accueillir la parcelle. Une simulation de l'aménagement paysager pourrait être envisagée également notamment par rapport aux règles relatives aux distances de plantation. L'estimation du potentiel constructible d'une parcelle aide l'architecte à déterminer ensuite une volumétrie plus précise de son projet (Figure 18). Ceci est également visualisable en éclaté de façon à prendre connaissance des différents niveaux des bâtiments.



Figure 18 : Aperçu du projet de bordeaux belvédère
(Source: www.sxd-groupe.fr)

Dans le but de garder le caractère végétal d'un espace, le PLU impose de respecter un ratio dédiés aux espaces verts lors de l'élaboration d'un projet d'aménagement du territoire. A l'aide du modèle 3D numérique, nous sommes en mesure de renseigner les différentes étendues concernées par les espaces verts. Le logiciel peut ensuite établir ce ratio (surface espaces verts/ surface totale) et nous indiquer si le projet envisagée rempli ou non le critère.

Bien que cette donnée ne nous soit pas communiquée par l'open data, le CIM permet de visualiser l'insertion paysagère du projet dans son environnement et d'en faire des études. La figure 19 ci-dessous illustre une variante entre une façade en pierre et une façade en béton. L'insertion paysagère peut également s'apprécier selon la volumétrie des bâtiments, à savoir s'ils créent des masques ou non sur d'autres horizons important de la ville.



Figure 19 : Etude de l'insertion paysagère selon une variante de façade en pierre
(Source :Présentation Bordeaux Belvédère)

Le détail de modélisation d'un modèle CIM permet de réaliser des simulations plus fines telles que : la vérification d'une accessibilité conforme à la réglementation concernant les personnes à mobilité réduite. Lors de mon stage de fin d'études j'ai pu participer, en tant que BIM manager, à une mission de pré-synthèse relative aux contrôles d'accessibilité des bâtiments. En effet, les normes d'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite s'applique à toute construction susceptible d'accueillir du public. Selon la norme NF P 98-352¹²³, « lorsqu'il ne peut être évité, un faible écart de niveau peut être traité par un ressaut à bord arrondi ou muni d'un chanfrein et dont la hauteur est inférieure ou égale à 2 cm ». De plus, afin d'éviter les infiltrations d'eau, nous vérifions que les dalles des locaux techniques sont situés au minimum à 15cm au-dessus du niveau de l'espace public.



Figure 20 : Modèle fédéré de projet de Bordeaux (Source : SXD)

Pour réaliser ces vérifications j'ai utilisé le modèle fédéré du projet de Bordeaux Belvédère dans ®Autodesk Navisworks Manage¹²⁴ (Figure 20). Ce modèle fédéré comporte les maquettes BIM des différents bâtiments réalisées par SXD ainsi que la modélisation des espaces publics réalisée par INGEROP. Une prise de cotes successives, pour chacune des portes, à l'aide de l'outil « mesurer ; axe Z verrouillé », entre la dalle du bâtiment et le

¹²³ (Arrêté du 8 décembre 2014 fixant les dispositions prises pour l'application des articles R. 111-19-7 à R. 111-19-11 du code de la construction et de l'habitation et de l'article 14 du décret n° 2006-555 relatives à l'accessibilité aux personnes handicapées des établissements recevant du public situés dans un cadre bâti existant et des installations existantes ouvertes au public - Article 2, s. d.)

¹²⁴ La version manage permet de profiter de l'intégralité des fonctions de Navisworks

domaine public m’a permis de dresser un tableau récapitulatif des écarts constatés (Figure 21, supra). Chacune des portes des bâtiments est numérotée de façon à associer chaque côte à un point de vue de la mesure réalisée. La rédaction d’un compte rendu reprenant les différents points de vue et le tableau récapitulatif est ensuite réalisé pour faire part des remarques aux acteurs concernés afin qu’ils puissent corriger les erreurs détectées. Ces erreurs peuvent être source de perte de temps, il est capital de les vérifier.

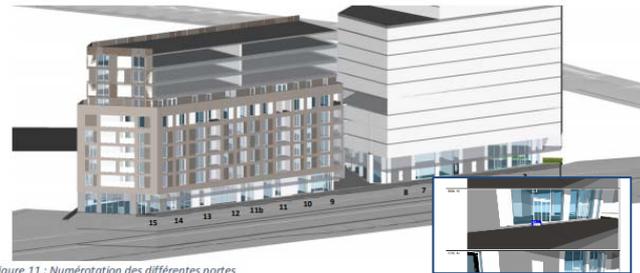


Figure 11 : Numérotation des différentes portes

Reprise de l'analyse parcellaire de l'EPA du 27.11.17							Analyse d'SXD		
	EB2b_A1	27/11/2017	Nouveau	Décalage EP/lot	0,236 m	Haute	ilot	24/01/2018	N'existe plus
COMMERCE	EB2b_A2	27/11/2017	Nouveau	Décalage EP/lot	0,21 m	Haute	ilot	24/01/2018	Décalage EP/lot : 17,2 cm
COMMERCE	EB2b_A3	27/11/2017	Nouveau	Décalage EP/lot	0,186 m	Haute	ilot	24/01/2018	Décalage EP/lot : 14,9 cm
TRANSFO	EB2b_A4	27/11/2017	Nouveau	Décalage EP/lot	0,165 m	Haute	ilot	24/01/2018	Décalage EP/lot : 16,5 cm
TELECOM	EB2b_A5	27/11/2017	Nouveau	Décalage EP/lot	0,146 m	Moyenne	ilot	24/01/2018	Décalage EP/lot : 12,6 cm
	EB2b_A6	27/11/2017	Nouveau	Décalage EP/lot	0,119 m	Moyenne	ilot	24/01/2018	N'existe plus
HALL + ORDURES MENAGERES	EB2b_A7	27/11/2017	Nouveau	Décalage EP/lot	0,101 m	Moyenne	ilot	24/01/2018	Décalage EP/lot : 2,3 cm
SOUS-STATION	EB2b_A8	27/11/2017	Nouveau	Décalage EP/lot	0,071 m	Moyenne	ilot	24/01/2018	Décalage EP/lot : 15,1 cm

Figure 21: numérotation des portes du bâtiment et tableau récapitulatif des écarts

À l’aide de ce même logiciel il est possible de faire de la détection de clash entre les différents modèles (exemple : un mur extérieur du bâtiment entre en conflit avec le trottoir (domaine public)). Solibri offre cette possibilité également de faire de la détection de clash, et de manière plus poussée en effectuant des vérifications à partir de règles, de classifications et d’informations préalable définies.

En phase conception, les études sont nombreuses et utiles. Quelles soient juridique ou techniques, elles permettent une bonne exécution du chantier et ainsi gagner du temps et de l’argent. Voyons comment le CIM peut être utile en phase chantier.

II.1.3 Un avatar pour une planification et une gestion meilleure du chantier ?

Le projet de Bordeaux belvédère est précurseur en matière de CIM en France. Étant encore en phase projet, il est quasi-impossible pour le moment d’avoir des retours concrets concernant les avantages du CIM en phase chantier. Cette sous-partie est l’objet de recherches et de réflexions quant aux avantages que présente le BIM en phase exécution. Peuvent-ils être également considérés pour le CIM ?

Le BIM présente des avantages indéniables en phase exécution, en tant que support de visualisation mais aussi concernant le suivi des travaux, du planning et du budget.

En effet le BIM permet la réalisation de nombreux rendu et plus particulièrement la visualisation 3D. Le modèle numérique 3D permet d’informer, en temps réel, l’entrepreneur lorsqu’il a une interrogation notamment sur une cote ou sur la nature ou la quantité des matériaux à utiliser. Habitué principalement à lire et à suivre des plans d’exécution, le

personnel devra être un minimum formé à l'utilisation du modèle 3D pour profiter des atouts de la consultation du modèle BIM/CIM sur le chantier.

À défaut de ne pas avoir de visualisation du modèle 3D sur le chantier, l'avantage est souligné par rapport à la rapidité de production des documents utiles (plans d'exécution, liste de tâches...) à la réalisation du chantier. De plus, l'interaction des professionnels sur le modèle 3D permet d'avoir toujours une version à jour. Le suivi du chantier se fait plus facilement, tant sur les tâches réalisées qu'en matière de planning et de budget.

L'étendue de ces avantages à l'échelle urbaine induira forcément des délais plus longs car il s'agira de concilier les différentes phases de constructions des différents ouvrages. En effet un projet de voirie présente comme un projet de construction un processus d'élaboration bien défini. La conciliation des deux processus d'élaboration ne sera pas évidente. Concernant le budget, le CIM étant composé de sous-modélisations, il semble possible de calculer le cout de chaque sous-modélisation et d'établir par ailleurs un cout global du projet.

L'utilisation des données urbaines l'illustre à travers cette parties comme essentielles à la réalisation d'un projet mené en BIM/CIM. En outre, le modèle 3D permet de réaliser de nombreuses études et de produire des données qui semblerait être intéressantes pour la démarche smart city. Demandons-nous maintenant si le CIM peut-être un outils et un support d'alimentation de données pour la démarche smart city ?

II.2 Le CIM, un support d'alimentation de données pour la smart-city ?

Comme nous venons de le voir, les données urbaines que propose une smart city constituent une richesse pour les diverses études diverses lors d'un projet élaboré en BIM/CIM. Comme nous l'avons vu, l'objectif d'une smart-city est de placer le citoyen au centre. Les nombreux avantages que présentent le BIM/CIM de niveau minimum 2 incitent les développeurs à mener un travail de réflexion pour déployer le smart-building. En effet, d'après Emmanuel François, rendre le bâtiment intelligent et connecté permettrait avant toute chose de le rendre durable, mais aussi de valoriser davantage le patrimoine immobilier, d'assurer le confort de l'utilisateur et de maîtriser parfaitement les systèmes du bâtiment. Faisant partie intégrante d'une smart-city, le smart-building est mis en place en France par la smart building alliance (SBA) (II.2.1). Les modèles numériques 3D réalisés en BIM/CIM sont-ils des préalables à l'élaboration d'une smart-city (II.2.2) ? Comment pourrait-on orienter les maîtres d'ouvrage pour que ce critère « smart » soit intégré aux futurs projets d'aménagement CIM (II.2.3) ?

II.2.1 Étude de cas : Ready 2 services (R2S), future label du smart-building

Cofondée en 2012, par Frédéric François et Serge Lemen, la smart building alliance (SBA) réunit plus de 200 membres. Concernés par l'évolution du secteur du bâtiment et la mise en place des smart-cities, les membres de la SBA ont pour but de fonder les smart-buildings. SXD, entreprise dans laquelle j'ai réalisé mon stage de fin d'études est l'un des membres de la smart building alliance (SBA). J'ai donc eu l'occasion de participer à une réunion de commission « ready2services » de la SBA. Qu'est-ce que le smart building ?

Selon Raphaël Pierrat¹²⁵, architecte Abvent/Twinmotion, le smart-building est avant tout une évolution sociétale mais plus particulièrement il s'agit d'un bâtiment, un bâtiment qui a vocation à communiquer tant à son échelle qu'à l'échelle du quartier ou de la ville. La non-passivité du bâtiment est régie par les différents systèmes intelligents (capteurs et/ou actionneurs) qui le composent. Ces systèmes intelligents permettent au bâtiment de capter l'information et ont vocation à offrir de nombreux services aux utilisateurs (habitants, propriétaires, collectivités territoriales...). Le smart-building favorise ainsi la réduction des coûts énergétiques, limite l'impact environnemental, offre d'avantage de commodité aux habitants et assure davantage la sécurité de chacun¹²⁶.

Les membres de cette alliance travaillent sur la vision transverse du smart building, c'est-à-dire qu'il s'agit de penser le bâtiment non plus en îlots séparés mais de manière globale. Il faut avoir à la fois une vision de l'intérieur du bâtiment, de ce qu'il est et de son rapport avec l'extérieur. Selon Emmanuel François¹²⁷, président de la SBA, un bâtiment doit répondre à trois critères pour être qualifié de smart-building :

- il doit être **connecté** à internet : Emmanuel François précise que la connexion ne doit pas être obtenue par les box internet individuelles de chaque usager mais par une connexion générale installée dans le bâtiment. Au sein du smart-building, la connexion internet est à prévoir au même titre que l'eau, le gaz et l'électricité car elle est primordiale pour les échanges et la diffusion d'informations ;
- le bâtiment doit être équipé de systèmes intelligents **standards** : La standardisation est indispensable pour la mutualisation et le partage des données.
- ces équipements doivent pouvoir être **interopérables** leur permettant de communiquer et fonctionner ensemble à tout moment.

Pour mieux orienter et conseiller les maîtres d'ouvrage, la commission Ready2Services a créé un cadre de références R2S reprenant notamment les prérequis précédemment cités afin que le bâtiment puisse s'interconnecter avec son environnement et qu'il devienne une plateforme de services.¹²⁸

Le cadre de référence R2S¹²⁹ définit le bâtiment communicant et connecté de la manière suivante : il s'agit dans un premier temps d' « un bâtiment connecté solidaire et humain, qui en autorisant une multitude de services, peut d'une part interagir avec l'utilisateur et son environnement et d'autre part s'inscrire dans la ville durable et intelligente de demain. Dans un second temps il s'agit d' « un bâtiment plus efficient, où la valeur d'usage contribue au bien-être de ses occupants et à sa valorisation sur le marché immobilier ». Ce cadre de référence s'applique à toutes les natures de bâtiment (tertiaires, d'activités ainsi que résidentiels) et que ce soit un projet neuf ou de rénovation. Ce nouveau concept permet la

¹²⁵ (Bati Journal, 2015)

¹²⁶ (Hxperience, 2016)

¹²⁷ (Bati Journal, 2015)

¹²⁸ (« Ready2Services SBA | Smart Building Alliance »)

¹²⁹ (Ready2Services, 2018)

mise en place de services énergétiques, de services relatifs au bâtiment ainsi qu'aux occupants.

Le cadre de référence (Figure 22) oriente les maîtres d'ouvrages en leur spécifiant que leur projet doit assurer une connectivité suffisamment performante pour permettre les échanges au sein du bâtiment. Ces échanges se feront par le biais d'une architecture réseau, initialement prévue dans le projet de construction et à l'aide d'équipement et d'interfaces interopérables. Afin d'éviter tout désordres pouvant mener à des contentieux, la SBA invite le maître d'ouvrage à sécuriser les interfaces et de mettre en place un dispositif permettant de protéger les données à caractère personnel. La prévision d'un management responsable permettra de rendre les services proposés optimum. Enfin, le bâtiment pourra être qualifié R2S que s'il met en place au minimum un service de suivi énergétique.

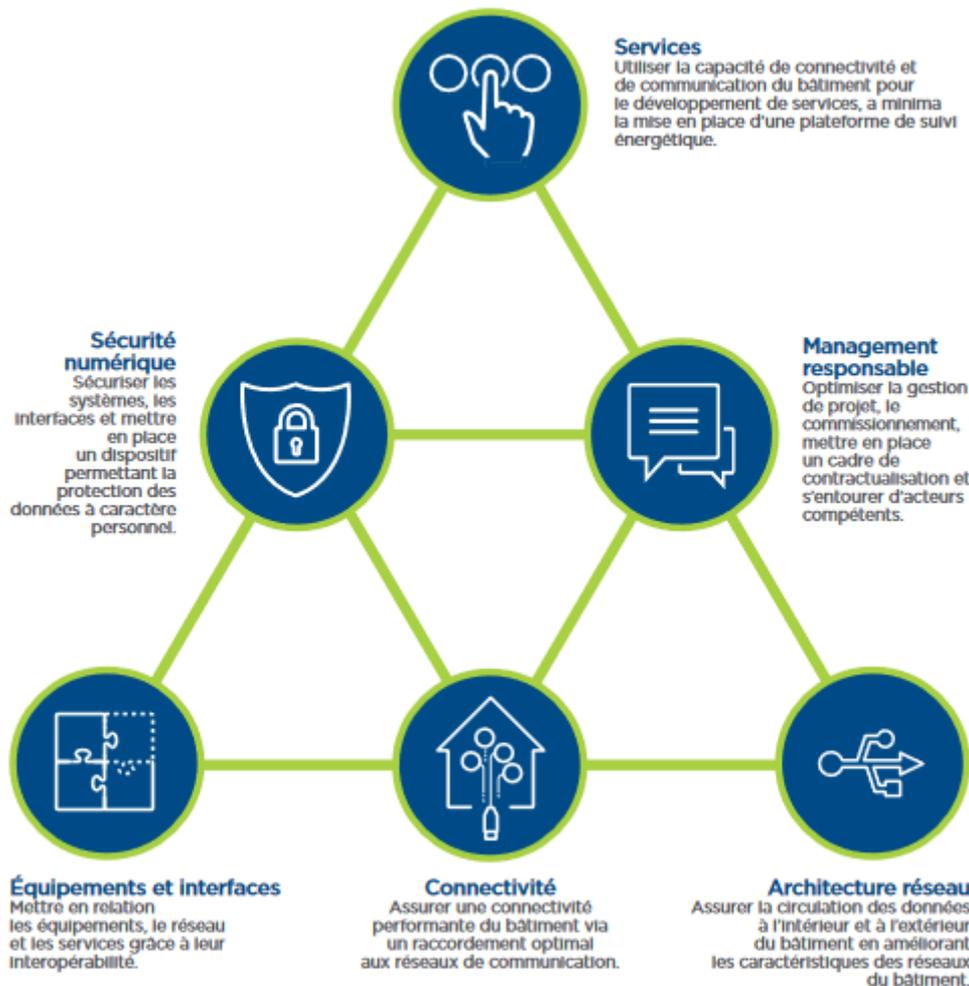


Figure 22 : Le cadre de référence R2S (Source : (Ready2Services, 2018))

De plus, il y a un an, la SBA a initié une démarche pour que le cadre de référence R2S établi par la commission R2S évolue en système référentiel complet, socle méthodologique d'un processus de labélisation. Pour ce faire, la SBA s'est rapprochée de deux organismes

certificateurs Français : Certivea pour les bâtiments tertiaires et à usages mixtes (bureaux, commerce, hospitalité, résidentiel...) et Cerqual pour le logement collectif.¹³⁰

Le lancement du label R2S Certivea est prévu pour le 26 juin 2018.

En nous appuyant sur cet exemple de smart building, voyons à l'échelle d'un quartier, comment le CIM pourrait être utile aux objectifs que cherche la SBA à l'échelle d'un bâtiment ?

II.2.2 Le CIM : Quels apports pour la smart city

Les enjeux évoqués précédemment concernant les transitions énergétiques, numériques et environnementales impliquent de développer des systèmes urbains intelligents. Parmi ces systèmes, on retrouve notamment le smart-grid, le smart-building, le smart-home, la smart-city... Afin de mieux appréhender ce que le CIM peut apporter à la smart-city, nous réfléchissons tout d'abord à l'utilité du BIM pour les smart-building.

Dans une démarche de smart-building, la révolution du numérique implique de réinventer la conception, la réalisation et l'exploitation des bâtiments. Ainsi, le BIM est le préalable d'un projet smart-building.

Le modèle numérique 3D est l'avatar du bâtiment et les niveaux d'exigences du BIM promettent des modèles 3D de plus en plus riches en informations. De plus, l'étendue du BIM au CIM ne va faire qu'accroître ce nombre de données qui traitées vont efficacement offrir de nombreux services.

En tant que modèle 3D, le BIM permet dans un premier temps au smart-building d'être un support de visualisation et de géolocalisation des différents systèmes intelligents. En effet, rendre un bâtiment actif implique d'ajouter au modèle 3D des objets intelligents et/ou connectés. Prenons l'exemple des ouvertures (portes, fenêtres) d'un modèle 3D : la modélisation de ces ouvertures en tant que tel rendent le modèle 3D passif, en revanche, l'ajout à la modélisation de capteurs permettrait de renvoyer une information (exemple : fenêtre «ouverte» ou «fermée»). Le CIM peut alors également être un support pour visualiser les emplacements exactes des différents capteurs dans une ville.

En matière énergétique, l'information que contient un modèle 3D sur la structure (matériaux) et la composition (épaisseur isolant, surface) du bâtiment permet d'optimiser les consommations. De plus, la modélisation d'objets connectés tel que les panneaux photovoltaïques, où la mise en place de capteur de température permettrait de renvoyer la production d'énergie ou la température d'une pièce.

En matière environnementale, la paysagiste Emmanuelle Gauvrit¹³¹ partage son expérience et explique que la modélisation de toiture végétalisée accompagnée de capteurs permet d'observer la quantité de pluie tombée ainsi que le temps que celle-ci met à s'écouler. Ces données recueillies permettent aux professionnels d'avoir des retours pour optimiser

¹³⁰ (R2S - Smart Building Alliance, 2018)

¹³¹ (Bati Journal, 2015)

leurs installations. Ce même procédé pourrait être utilisé à échelle d'un quartier et ainsi éviter les risques d'inondation.

En matière de sécurité, le modèle 3D de bâtiment répertorie l'ensemble des extincteurs incendies, ainsi que les portes coupes feu avec l'association de capteurs afin d'avoir l'information si elles sont ouverte ou fermée. De plus, en matière de sécurité et pas seulement en cas d'incendie, à l'aide de la maquette 3D, il est possible de réaliser diverses simulations pour étudier les différents parcours d'évacuation des personnes (stade, théâtre, gare, aéroport...). A l'échelle du CIM, nous pouvons considérer qu'il s'agira de l'emplacement des bouches à incendies avec des capteurs permettant de dire si elles sont ouvertes ou fermés.

Le modèle 3D est un prérequis pour la gestion de patrimoine. Il permet notamment de garder un historique du bâtiment en cas de rénovation (type de structure, poids de la structure). Les études vues dans la partie précédente permettent de comprendre également pourquoi il s'insère dans la ville. Mais aussi, Emmanuel François disait dans le cadre du smart-building, que le bâtiment devait être flexible à propos de sa nature. Il doit pouvoir passer d'un agencement résidentiel à un agencement bureau ou commerciale. Les différentes études de changement de destination peuvent se prévoir à l'aide du modèle 3D.

Enfin, la plateforme de services que promet le smart-building entre en jeu dans la valorisation du bâtiment. Plus le bâtiment offrira de services, plus sa valeur augmentera. La valeur ne sera plus essentiellement définie par rapport au bâti mais aussi par rapport aux services que celui-ci propose. Le CIM apparait donc être indirectement un critère de valorisation d'un bâtiment.

Le CIM semble être un outil potentiel pour la démarche smart-city, aidons maintenant les maîtres d'ouvrage à prévoir ce critère « smart » lors de l'élaboration de leur projet en CIM.

II.2.3 Proposition d'un cahier des charges

La proposition de ce cahier des charges s'inspire de la démarche R2S (II.2.1) étendue au territoire. Il faut apprécier ce document non pas comme un cahier des charges à valeur contractuelle mais comme une note de préconisation.

En rappelant que le numérique est devenu le moteur central ces dernières années. Le maître d'ouvrage commencera ce document par énoncer ses attentes et ses objectifs quant à l'intégration de démarches numériques innovantes en matière de CIM et de Smart-city.

Un ou plusieurs spécialistes conseilleront et accompagneront le maître d'ouvrage sur l'intérêt de développer de nouvelles technologies liées au modèle 3D numérique CIM et à la démarche smart city. Les sujets sont notamment :

- En matière de CIM :
 - o l'exploitation de nouveaux modèles numériques « enrichies » basées sur les formats standards IFC et CityGML ;

- la représentation des réseaux : un enjeu majeur concernant le raccordement des réseaux du sous-modèle « bâtiment » et les restes des réseaux du modèle CIM.
- En matière de Smart City :
 - l'emplacement des systèmes intelligent (capteurs, actionneurs) au sein des différents sous-modèles ;
 - prévoir l'architecture réseau permettant l'échange des données liées à la démarche smart-city. L'architecture réseau est à prévoir à l'intérieur des bâtiments mais également au sein des espaces publics.

Le CIM Manager doit ensuite définir les contraintes et paramètres généraux à respecter pour la livraison des différents sous-modèles numériques : bâtiments, réseaux, infrastructure, voiries... Pour chacun des sous-modèles, seront spécifiés les formats de fichier et le(s) logiciel(s) utilisé(s). La détermination d'une nomenclature permettant d'avoir un nom de fichier unique pour tous les sous-modèles et d'une règle de dénomination des objets est à mettre en place.

Afin de mettre tout le monde à l'abri, le CIM Manager doit réfléchir à un cadre de contractualisation et de sécurité numérique.

Il semble nécessaire de prévoir un volet d'inclusion du citoyen de façon à lui expliquer en quoi cela consiste pour qu'il puisse profiter de manière optimum des services proposés dans son bâtiment et dans sa ville.

Conclusion

L'évolution du numérique, toujours plus présent, année après année, conduit le géomètre-expert à l'utiliser et à s'adapter aux nouvelles méthodes de travail, notamment en ce qui concerne le BIM. Les nombreuses études concernant l'utilisation du BIM au sein des cabinets de géomètre-expert ont montré qu'il s'agissait d'un outil remarquable. De plus, en matière d'aménagement, avec l'informatisation des services des communes, la démarche smart-city a pris de l'ampleur. Il était donc pour ma part nécessaire d'étudier ces deux concepts.

La recherche présentée dans ce mémoire a contribué à mettre en évidence l'interaction entre le city information modeling (CIM) et la smart-city.

Bien que parfaitement installé en France pour le secteur du bâtiment, le BIM doit davantage persévérer et s'étendre aux travaux publics, car nous avons pu constater que les six piliers de la démarche smart city coïncidaient avec le processus CIM. Très proche notamment sur leurs démarches collaboratives et sur les données qu'ils contiennent, ils ont tout intérêt à interagir.

Effectivement, la smart-city possède de nombreuses données quant à la mise en place d'un projet d'aménagement. Étant donné que la délimitation foncière n'est pas incluse dans les données urbaines, l'intervention du géomètre-expert est toujours indispensable. Nous pouvons nous demander si dans les années à venir le portail Géofoncier sera en OpenData ? Futur avatar de la ville et prometteur dans les analyses qu'il peut fournir le CIM est un outil incontournable pour la démarche smart-city. Une note de préconisation a été proposée dans ce mémoire, néanmoins le cahier des charges à valeur contractuelle reste à définir précisément.

Dans les deux sens d'interaction, nous avons pu constater que la donnée était source d'enjeux. S'appréhendant contractuellement, les acteurs doivent être vigilants en élaborant précisément leur contrat et en accomplissant leurs missions telles que définies. Enfin, la contractualisation liant le CIM et la Smart-city reste à préciser. La démarche collaborative menant à des conventions multiparties va-t-elle prendre le dessus sur les contrats bilatéraux ?

Bibliographie

Ouvrages imprimés :

- Auby, J.-B., & De Gregorio, V. (2017). *Données urbaines et smart cities*. Berger Levrault.
- Bellenger, A.-M., Blandin, A., & Celnik, O. (2016). *Le BIM sous l'angle du droit: pratiques contractuelles et responsabilités*. Paris Marne-la-Vallée: Eyrolles CSTB éditions.
- Dameri, R. P. (2017). *Smart City Implementation: Creating Economic and Public Value in Innovative Urban Systems*. Springer International Publishing.
Consulté à l'adresse [//www.springer.com/fr/book/9783319457659](http://www.springer.com/fr/book/9783319457659)
- Emmerich, S. (2014). *La Smart city en 10 questions* (territorial éditions).
- Jean Denègre, & François Salge. (2004). *Les systèmes d'information géographique*. Consulté à l'adresse https://www.puf.com/content/Les_syst%C3%A8mes_dinformation_g%C3%A9ographique
- Nagy, G., Celnik, O., & Lebègue, E. (2015). *BIM et maquette numérique : Pour l'architecture, le bâtiment et la construction Ed. 2*. Eyrolles.
Consulté à l'adresse <http://univ.scholarvox.com.proxybib.cnam.fr/book/88830717>
- Picon, A. (2013). *Smart-City et Critique d'un idéal auto-réalisateur*. France.
- Priol, J. (2017). *Le big data des territoires: open data, protection des données, smart city, civic tech, services publics... : les nouvelles stratégies de la donnée au service de l'intérêt général*.

Travaux universitaires :

- Bailleul, H. (2009). *Communication et projets urbains. Enjeux et modalités de la communication entre acteurs du projet et habitants*. Tours. Consulté à l'adresse <http://www.theses.fr/2009TOUR1802>
- Benni, F. (2016, juillet 4). *Adapter la réalité de terrain en SIG 3D : les problématiques du géomètre dans le processus BIM (other)*. Consulté à l'adresse <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01685629/document>

- Bernardin, H. (2010). *La responsabilité des constructeurs de voirie et réseaux divers (état des lieux et perspectives)*, 724.
- Bouillon, L. (2016, juillet 6). *Le BIM comme support de la gestion foncière des immeubles bâtis et des ouvrages complexes (other)*.
Consulté à l'adresse <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01685722/document>
- Brasebin, M. (2015). *Les données géographiques 3D pour simuler l'impact de la réglementation urbaine sur la morphologie du bâti*, 242.
- Dehodent, K. (2015, juin 26). *Intégration du processus BIM dans un cabinet de Géomètres Experts*.
Consulté à l'adresse <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01337721/document>
- Ferriès, B., & Bonhomme, M. (s. d.). *La maquette numérique, un moyen d'augmenter la densité informationnelle d'un territoire ?*
- Herman van der Wusten. (s. d.). *La ville fonctionnelle et les modèles urbains qui lui ont succédé*.
- Landrieu, J. (2014). *Apport des réalités virtuelles et augmentées dans la planification et le suivi in situ de travaux de rénovation.*, 168.
- Laurencin, M. (2017, juin 13). *L'intégration des données complémentaires (données foncières, division en volume, environnement) au sein de maquettes numériques au format Revit (other)*.
Consulté à l'adresse <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01657137/document>
- MACHER, H. (2017). *Du nuage de points à la maquette numérique de bâtiment : Reconstruction 3D semi-automatique de bâtiments existants*, 166.
- Martin, J. (2017). *Evolution des méthodes de travail en bureau d'études paysage : les intérêts du BIM (Building Information Modeling) (Mémoire de stage de fin d'étude)*.
- Pauline, C., Clément, C., Mélanie, D., Xavier, K.-P., & Nicolas, T. (2016). *Révolution numérique dans le bâtiment:: analyse des gains escomptés par la diffusion des outils numériques (BIM et maquette numérique) dans le secteur du bâtiment.*, 5.
- Simard, J. (2015). *La ville intelligente comme vecteur pour le développement durable : le cas de la ville de Montréal*.
- Taewoo Nam & Theresa A. Pardo. (s. d.). *Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions*. Centre for Technology in Government University at Albany, State University of New York, US.

- Xu, X., Ding, L., Luo, H., & Ma, L. (2014). *From building information modeling to city information modeling. Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 19(17), 292-307.

Rapports :

- Belot, L. (2017). *Rapport de M. Luc Belot sur les smart cities*. Consulté 11 juin 2018, à l'adresse <https://www.gouvernement.fr/partage/9140-rapport-de-m-luc-belot-sur-les-smart-cities>
- Delcambre, B. (2014). *Rapport final : Mission Numérique Bâtiment*.
- Ordre des Architectes. (2015). *Le BIM : un atout pour l'architecte*.
- Pican, X., Avocat Associé, & Lefèvre Pelletier & Associés. (2016). *Mission « Droit du numérique & bâtiment », 77*
- Ready2Services. (2018). *Cadre de référence nouvelle génération pour des bâtiments connectés et communiquant*.
- R2S - Smart Building Alliance. (2018). *Compte rendu de la réunion commission R2S du 3 avril 2018*.

Articles de périodiques numériques :

- GA Smart Building. (2017, novembre 9). *Embarquement immédiat pour un tour d'Europe du BIM*. Consulté à l'adresse : <https://www.ga.fr/newsroom/embarquement-immediat-pour-un-tour-deurope-du-bim>
- Gillion, F. (2014, juillet 24). *Maquette numérique : comment adapter les contrats de construction au BIM - Construction Numérique*. Consulté à l'adresse <https://www.lemoniteur.fr/article/maquette-numerique-comment-adapter-les-contrats-de-construction-au-bim-24961657>
- Laroche, C. (2017). *La garantie de bon fonctionnement. lemoniteur.fr*. Consulté à l'adresse <http://www.lemoniteur.fr/article/la-garantie-de-bon-fonctionnement.888889>

- Monier-Vinard, B. (2015). *Monaco en 3D : la ville numérique*. Consulté 26 mars 2018, à l'adresse http://www.lepoint.fr/high-tech-internet/monaco-en-3d-la-ville-numerique-25-05-2015-1931037_47.php
- Pourcel, E. (2014, août 15). L'application de la loi MOP n'est pas toujours obligatoire. Consulté 25 juin 2018, à l'adresse <https://www.lemoniteur.fr/article/l-application-de-la-loi-mop-n-est-pas-toujours-obligatoire.1423279>
- Richard, D. (2017, décembre 1). Construction - BIM : analyse et perspectives de l'immeuble numérique - Etude par David RICHARD - Lexis 360®. Consulté 20 juin 2018, à l'adresse http://www.lexis360.fr/document?docid=PS_KPRE-542267_0KTC
- Vincendon, S. (2018, février 7). *Des constructions qui envoient du bois*. Consulté 27 mars 2018, à l'adresse http://www.liberation.fr/france/2018/02/07/des-constructions-qui-envoient-du-bois_1623496

Sites web :

- Boyd Cohen: « The Smart City Wheel ». (2011). Consulté 10 juin 2018, à l'adresse <https://www.smart-circle.org/smartcity/blog/boyd-cohen-the-smart-city-wheel/>
- Direction des affaires juridiques. (2016). *Marchés publics et autres contrats*. Consulté 20 juin 2018, à l'adresse <https://www.economie.gouv.fr/daj/MP-et-autres-contrats-2016>
- European smart cities - Why smart cities? (s. d.). Consulté 14 mars 2018, à l'adresse <http://www.smart-cities.eu/why-smart-cities.html>
- Gatrell, A. . (1991). *Geographic Information Systems and Science* - John Wiley & Sons. Consulté 7 juin 2018, à l'adresse https://www.wiley.com/legacy/wileychi/gis/Volume1/BB1v1_ch9.pdf
- Géomètre-expert / Conseiller-valoriser-garantir - La profession. (s. d.). Consulté 19 juin 2018, à l'adresse http://www.geometre-expert.fr/oge/la-profession/la-profession-stu_5172
- Grelier Wyckoff, P. (2015). *Pratique du droit de la construction: Marchés publics - Marchés privés*. Consulté à l'adresse <http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://international.scholarvox.com/book/88828214>

- Hxperience. (2016, octobre 3). Le smart building au service d'une urbanisation durable.
Consulté 24 juin 2018, à l'adresse <https://hxperience.com/le-smart-building-au-service-dune-urbanisation-durable/>
- Le cadre de la participation du public au titre du code de l'environnement.(2018,mai 2).
Consulté 11 juin 2018, à l'adresse [/cadre-participation-du-public-au-titre-du-code-lenvironnement](#)
- L'ouverture des données publiques. (2017).
Consulté 25 juin 2018, à l'adresse <https://www.gouvernement.fr/action/l-ouverture-des-donnees-publiques>
- MAF. (s. d.). Modèle de contrat BIM Manager proposé par la MAF.
Consulté à l'adresse https://www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/2_-_contrat_de_bim_manager_-_conditions_generales_-_version_beta.pdf
- Navigant Research. (2016, 06 20). *Smart Cities*.
Consulté le février 22, 2018, sur Navigant Research: www.navigantresearch.com
- Petraud, E. (2017). IOT : supertrees, quand les arbres vous rendent la vi(II)e plus belle.
Consulté à l'adresse <http://digitalizeme.fr/2017/02/03/supertrees-arbres-iot-ville/>
- Ready2Services SBA | Smart Building Alliance. (s. d.).
Consulté 24 juin 2018, à l'adresse <http://www.smartbuildingsalliance.org/commission/ready-2-services>
- Smart Cities. (2016, juin 20).
Consulté 22 février 2018, à l'adresse <https://www.navigantresearch.com/research/smart-cities>

Conférences :

- Missika J-L. (2018,mars 29), Maire adjoint en charge de l'urbanisme, de l'architecture, des projets du Grand-Paris du développement économique et de l'attractivité, Ville de Paris. BIM WORLD 2018.

Articles - Lois :

- Dossiers législatifs - LOI n° 2016-1321 du 7 octobre 2016 pour une République numérique | Legifrance. (s. d.).
Consulté 21 février 2018, à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/affichLoiPubliee.do?idDocument=JORFDOLE000031589829&type=general&legislature=14>

- Loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés - Article 2.
- ORDONNANCE n° 2015-899 du 23 juillet 2015 relative aux marchés publics.
- Code civil - Article 1787, 1787 Code civil §.
- Code civil - Article 1792-1, 1792-1 Code civil §.
- Loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 portant diverses mesures d'amélioration des relations entre l'administration et le public et diverses dispositions d'ordre administratif, social et fiscal.
- Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'oeuvre privée. - Article 1.
- Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'oeuvre privée. - Article 2.

Jurisprudences :

- Arrêté du 8 décembre 2014 fixant les dispositions prises pour l'application des articles R. 111-19-7 à R. 111-19-11 du code de la construction et de l'habitation et de l'article 14 du décret n° 2006-555 relatives à l'accessibilité aux personnes handicapées des établissements recevant du public situés dans un cadre bâti existant et des installations existantes ouvertes au public - Article 2.
- Conseil d'Etat, 7 /10 SSR, du 8 avril 1998, 167372, mentionné aux tables du recueil Lebon.
Consulté à l'adresse
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichJuriAdmin.do?idTexte=CETATEXT000007960542>
- Cour Administrative d'Appel de Nantes, 5ème chambre, 02/02/2015, 13NT02139, Inédit au recueil Lebon, No. 13 (Tribunal 2 février 2015).
Consulté à l'adresse
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichJuriAdmin.do?oldAction=rechJuriAdmin&idTexte=CETATEXT000030223734&fastReqId=25086490&fastPos=1>

Vidéos :

- Bati Journal. (s. d.). B4 Smart Building - Qu'est-ce que le Smart Building ? BATIMAT 2015.
Consulté à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=d1O72p37g-Y&t=1s>

Table des annexes

Annexe 1 Présentation du projet CIM de Bordeaux Belvédère	58
Annexe 2 Les domaines d'actions des six piliers de la Smart City selon Cohen	59
Annexe 3 Procédure de publicité et de mise en concurrence selon les critères définis par le décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics	60
Annexe 4 Les différentes zones du projet de vanne	61

Annexe 1

Présentation du projet CIM de Bordeaux Belvédère

Bordeaux souvent connu pour son bon vin, est une ville de Gironde situé au sud-ouest de la France. Avec ses 250 000 habitants, Bordeaux est la principale commune des 28 composant la métropole « Bordeaux Métropole ». La politique de la ville de Bordeaux est de connaître, maîtriser l'histoire de la ville et comprendre la formation des tissus urbains afin de pouvoir imaginer et envisager son avenir. Cette ville est marquée par une réelle identité historique et un fort potentiel de développement urbain.

Le quartier « Belvédère » situé au Sud-Est de Bordeaux est un projet d'aménagement compris dans le projet de ZAC « Garonne Eiffel ». Il s'étend en partie sur deux communes, Bordeaux et Floirac. Le projet situé sur la rive droite de la Garonne, s'étend sur une surface de 9,3ha dont 3,9ha à bâtir (Bureaux, Commerces, Logements, Hôtels, Structures culturelles).

L'Etablissement Public d'Aménagement (EPA) Bordeaux Euratlantique a souhaité dans sa stratégie d'aménagement urbain intégrer des démarches numériques innovantes telles que le BIM. Dans cette démarche, l'EPA, en tant qu'aménageur, a eu l'envie d'étendre cette politique à l'espace public afin de valoriser la conception des projets urbains. Ceci constitue pour l'EPA une réelle ambition, à échelle locale et à échelle nationale, car il s'agit du premier projet français à être réalisé avec le processus CIM. Ce projet est l'assise d'une expérimentation. De plus, l'initiative de l'EPA conduit vers un objectif second de créer la Smart-city, à savoir plus particulièrement :

- Prendre en compte les enjeux environnementaux et les contraintes énergétiques ;
- Favoriser le fonctionnement en réseau des acteurs entre eux : collectivités citoyens et entreprises ;
- Permettre de passer de la propriété à l'usage ; participation des usages à la conception des produits et services ;
- Intégrer les nouvelles technologies de l'information et de la communication, la robotique, les systèmes de transports intelligents, etc.)¹³².

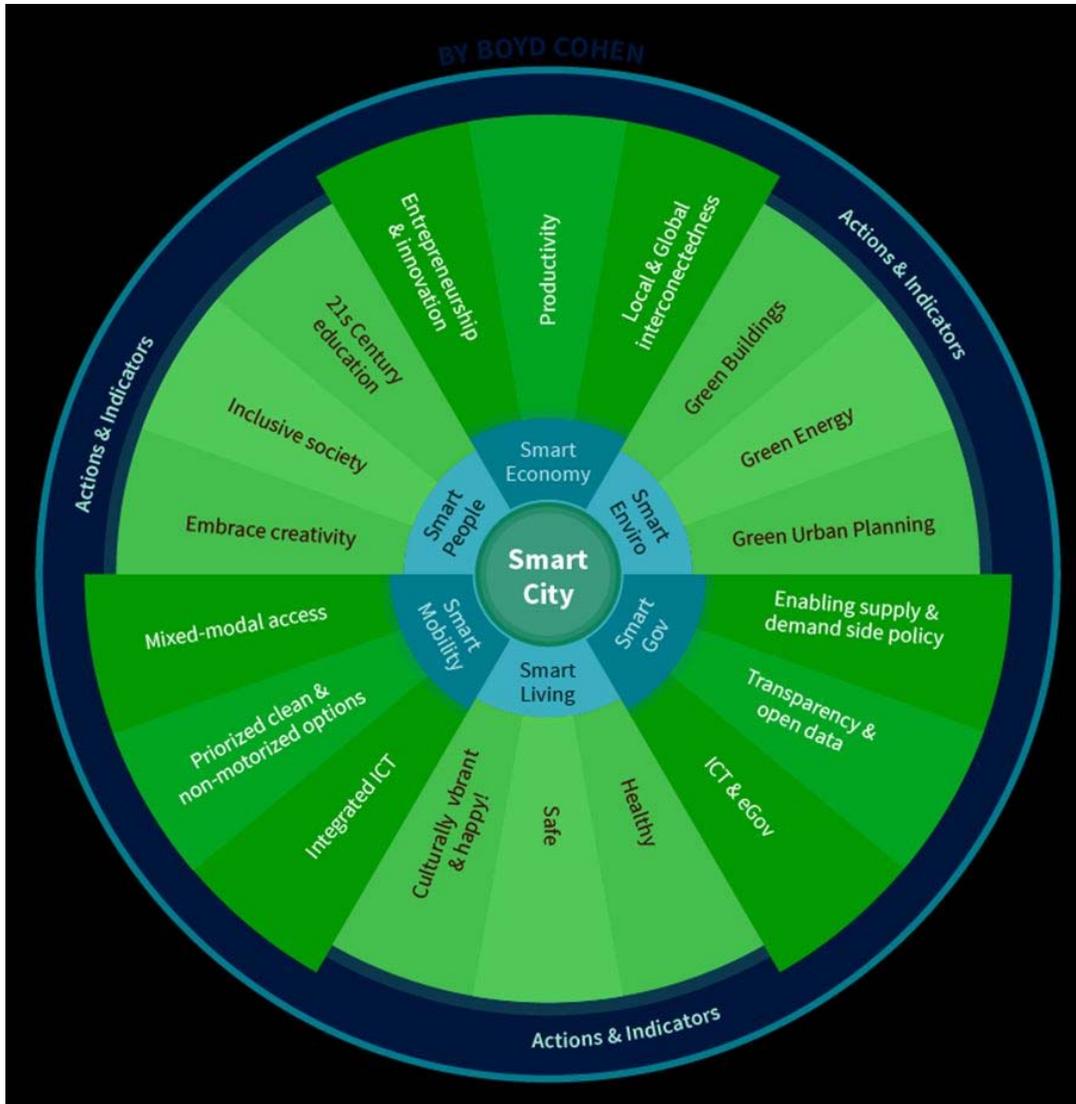
Le territoire du Belvédère a été identifié comme le site de projet permettant de développer cette démarche CIM à une échelle adaptée aux enjeux d'opérabilités que ce soit en termes d'acteurs, de programmation et de la planification. Cependant, l'ensemble des porteurs de projet souhaitant mettre en œuvre une démarche BIM sur leur projets peuvent s'intégrer au sein de cette démarche, indépendamment de leur implication.¹³³

¹³² Convention commune du projet de Bordeaux Belvédère

¹³³ Selon le schéma directeur du projet de Bordeaux Belvédère

Annexe 2

Les domaines d'actions des six piliers de la Smart City selon Cohen



Annexe 3

Procédure de publicité et de mise en concurrence selon les critères définis par le décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics

Réalisation personnelle

Etats et ses établissements publics				
Travaux	Publicité facultative	Publicité adaptée	Publicité obligatoire au BOAMP ou journal d'annonce légal	Publicité obligatoire au BOAMP et JOUE
	Procédure négociée sans mise en concurrence préalable	Procédure adaptée	Procédure adaptée	Procédure formalisée
Fournitures et services	Publicité facultative	Publicité adaptée	Publicité obligatoire ou BOAMP ou journal d'annonce légal	Publicité obligatoire au BOAMP et JOUE
	Procédure négociée sans mise en concurrence préalable	Procédure adaptée	Procédure adaptée	Procédure formalisée

5 225 000€

Collectivités Territoriales et leurs établissements publics				
Travaux	Publicité facultative	Publicité adaptée	Publicité obligatoire au BOAMP ou journal d'annonce légal	Publicité obligatoire au BOAMP et JOUE
	Procédure négociée sans mise en concurrence préalable	Procédure adaptée	Procédure adaptée	Procédure formalisée
Fournitures et services	Publicité facultative	Publicité adaptée	Publicité obligatoire au BOAMP ou journal d'annonce légal	Publicité obligatoire au BOAMP et JOUE
	Procédure négociée sans mise en concurrence préalable	Procédure adaptée	Procédure adaptée	Procédure formalisée

25 000€

90 000€

209 000€

Annexe 4

Les différentes zones du projet de vanne



Liste des figures

Figure 1 : Le processus BIM (source : njhcadservices.co.uk).....	5
Figure 2 : Les différents niveaux BIM – Niveau de maturité de la France en BIM aujourd’hui (Source : inspiré de www.geniebelt.com)	7
Figure 3 : Les différents niveaux (LOD) de détails en CityGML (Source : oslandia.github.io).....	11
Figure 4 : Maquette numérique urbaine (MNU) de Monaco, 2011 (Source : www.lepoint.fr)	12
Figure 5 : Aperçu du projet CIM « Bordeaux Belvédère »	12
Figure 6 : Composition du modèle fédéré CIM – (Source : réalisation personnelle).....	13
Figure 7 : Les domaines d’actions des six piliers de la Smart City selon Cohen (Source : (« Boyd Cohen », 2011)) – (Annexe 3)	16
Figure 8 : Organigramme des différents acteurs d’un BIM/CIM (Source : Réalisation Personnelle)	23
Figure 9 : Délais des différentes garanties de constructeur (Source : Réalisation personnelle).....	30
Figure 10 : Aperçu de la fonction « Model Builder » d’Autodesk InfraWorks	36
Figure 11 : Modélisation du terrain tiré OSM.....	36
Figure 12 : Optimisation de la modélisation à l’aide d’un MNT plus précis	36
Figure 13 : Modélisation affinée des routes tirées d’Autodesk InfraWorks	37
Figure 14 : Modélisation brutes des routes brutes tirées d’Autodesk InfraWorks	37
Figure 15 : visualisation des bâtiments LOD 1 et des bâtiments LOD 2	37
Figure 16: Aperçu de l’application immersive de Vannes - Existant	38
Figure 17: Aperçu de l’application immersive de Vannes - Projet	39
Figure 18 : Aperçu du projet de bordeaux belvédère (Source: www.sxd-groupe.fr)	41
Figure 19 : Etude de l’insertion paysagère selon une variante de façade en pierre (Source :Présentation Bordeaux Belvédère).....	42
Figure 20 : Modèle fédéré de projet de Bordeaux (Source : SXD).....	42
Figure 21: numérotation des portes du bâtiment et tableau récapitulatif des écarts.....	43
Figure 22 : Le cadre de référence R2S (Source : (Ready2Services, 2018)).....	46

CIM et Smart-City

Mémoire de Master C.N.A.M., 2018

RESUME

L'aménagement du territoire est bouleversé par l'accroissement des population en ville. Or, la réduction de l'impact sur le métabolisme urbain peut se résoudre par l'interaction entre le numérique (SIG,CIM et Open Data) et la planification urbaine. De celle-ci naît un nouvel élan urbain : la smart city.

En réponse à des finalités communes à l'aide d'une démarche collaborative pour offrir un maximum de services aux usagers, l'interaction entre le CIM et la Smart-city est perspective d'avenir et d'innovation.

Mots clés : BIM, Données urbaines, Open Data, Smart-building, contrat, responsabilités.

SUMMARY

Land-use planning is disrupted by increasing population in the city. However, reducing the impact on urban metabolism can be reduced by the interaction between digital technology (GIS, CIM and Open Data) and urban planning. From it comes a new urban impulse: the smart city.

In response to common goals using a collaborative approach to provide maximum services to users, the interaction between the CIM and Smart-city is perspective of the future and innovation.

Key words : BIM, Urban data, Open Data, Smart-building, contract, responsibilities.