



HAL
open science

Recherche d'un workflow BIM Infra pour un cabinet d'ingénierie VRD indépendant

Bastien Révol

► **To cite this version:**

Bastien Révol. Recherche d'un workflow BIM Infra pour un cabinet d'ingénierie VRD indépendant. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-02958985

HAL Id: dumas-02958985

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02958985>

Submitted on 6 Oct 2020

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
ECOLE SUPERIEURE DES GEOMETRES ET TOPOGRAPHES

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

SPECIALITE : Géomètre et Topographe

par

Bastien REVOL

Recherche d'un workflow BIM Infra pour un cabinet d'ingénierie VRD
indépendant

Soutenu le 05 septembre 2019

JURY

Monsieur Christophe CHARLET	Président du jury
Monsieur Brice GEHANT	Maître de stage
Monsieur Jérémie ROBERT	Enseignant référent

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier sincèrement mon directeur de stage, Brice Géhant, géomètre-expert au sein du bureau d'études BEAUR. Il m'aura accompagné tout au long de mon travail en faisant preuve d'un réel investissement sur le travail que je réalisais, tous ses conseils auront été bénéfiques.

Je remercie également Denis Delhomme, ingénieur conseils au BEAUR, pour l'intérêt qu'il aura porté à mes recherches et pour ses conseils avisés.

Je voudrais remercier l'ensemble du personnel du BEAUR pour leur accueil chaleureux pendant la totalité de mon stage et pour le partage de leurs connaissances.

Puis, je remercie mon professeur référent à l'ESGT, M. Robert, pour avoir encadré mon travail en me suggérant des pistes d'amélioration.

Enfin, je remercie mes camarades de l'ESGT avec lesquels ces trois années auront été marquées de bons moments.

Pour finir, je remercie ma famille pour son soutien et pour m'avoir permis de réaliser ces études.

Liste des abréviations

AMO : Assistant maîtrise d'ouvrage

BDD : Base de données

BIM : Building information modeling

CCAP : Cahier des clauses administratives particulières

CCTP : Cahier des clauses techniques particulières

CIM : City information modeling

DCE : Dossiers de consultation des entreprises

DICT : Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux

DOE : Dossier des ouvrages exécutés

DT : Déclaration de projet de Travaux

GDEM - ASTER : Global Digital Elevation Map - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

IFC : Industry Foundation Classes

MNT : Modèle numérique de terrain

PME : Petite/Moyenne Entreprise

PTNB : Plan Transition Numérique dans le Bâtiment

SIG : Système d'information géographique

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

USGS : United States Geological Survey

VRD : Voiries et réseaux divers

Glossaire

Closed-BIM : La totalité des échanges du travail BIM s'effectuent par le biais de formats propriétaires, le format IFC n'est donc pas utilisé.

Implémentation : « Mise en place sur ordinateur d'un système d'exploitation ou d'un logiciel adapté aux besoins et à la configuration informatique de l'utilisateur. » (Dictionnaire Larousse)

Interopérabilité : « Capacité de matériels, de logiciels ou de protocoles différents à fonctionner ensemble et à partager des informations. » (Dictionnaire Larousse)

Jumeau numérique : Il s'agit de la représentation numérique d'un objet existant.

Maquette numérique : C'est une représentation en trois dimensions de plusieurs éléments dits 'intelligents'. Ces derniers sont caractérisés par de nombreux attributs.

Maquette numérique de conception : Elle est réalisée par les équipes de maîtrise d'œuvre et va s'enrichir selon l'avancement du projet, les objets qui la constituent sont correctement identifiés et renseignés.

Maquette numérique de réalisation : « La maquette numérique de conception développée et complétée progressivement par les études d'exécution et de synthèse devient la maquette numérique de réalisation. » (Définition issue du guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage réalisée par le PTNB)

Modèle 3D : Il correspond en une simple modélisation en trois dimensions d'un objet.

Open data : Ce sont des données accessibles gratuitement.

Workflow : C'est une notion qui désigne une suite d'opérations et de tâches afin de définir un processus de travail.

Table des matières

I	ETAT DE L'ART	9
I.1	APPLICATION DU BIM A DES DOMAINES ELARGIS : LE « BIM INFRA »	9
I.1.1	Définition	9
I.1.2	Les mesures de développement nationales	10
I.1.2.1	Le projet COMMUNIC	10
I.1.2.2	Le projet MINnD.....	10
I.1.3	Le format IFC pour les infrastructures.....	11
I.1.4	Les outils de réalisation du BIM Infra	11
I.1.4.1	Les logiciels de modélisation de bâtiment.....	12
I.1.4.2	Les logiciels de modélisation d'infrastructure linéaire.....	12
I.1.4.3	Les logiciels de gestion	13
I.1.4.4	Les plateformes collaboratives	13
I.1.4.5	Les logiciels de visualisation.....	14
I.1.5	Les limites du BIM Infra.....	14
I.1.5.1	De nouvelles méthodes de travail.....	15
I.1.5.2	L'interopérabilité entre tous les logiciels	16
I.1.5.3	L'adaptation de plans en deux dimensions.....	16
I.2	DEROULEMENT ACTUEL DU BIM INFRA.....	17
I.2.1	Les acteurs d'un projet BIM	17
I.2.2	Les documents qui réglementent le projet	18
I.2.3	Critique de l'utilisation du BIM Infra pour des petites structures.....	19
I.2.4	Retour d'expérience	20
I.3	CONCLUSION.....	21
II	MISE EN ŒUVRE D'UNE CHAÎNE DE PRODUCTION DU BIM INFRA.....	22
II.1	PRELABLE A LA PRODUCTION.....	22
II.1.1	Les attentes du maître d'ouvrage	22
II.1.1.1	Exprimées le plus tôt possible	22
II.1.1.2	Claires et explicites	23
II.1.1.3	Définir le niveau de BIM de chaque intervenant.....	23
II.1.2	Quels types de maquettes associer à chaque phase du projet.....	23
II.1.2.1	En phase de concours	23
II.1.2.2	En phase d'esquisse.....	23
II.1.2.3	En phase d'avant-projet.....	24
II.1.2.4	En phase de projet	24
II.1.2.5	Passage de la phase projet à l'exécution des travaux	24
II.1.2.6	En vue de la gestion et la maintenance de l'ouvrage.....	24
II.1.3	Aide à la production de la maquette numérique.....	25
II.1.3.1	Bibliothèques d'objets.....	25
II.1.3.2	Jeux de propriétés BIM	25
II.2	MISE EN PLACE D'UN WORKFLOW AFIN DE PRODUIRE LA MAQUETTE NUMERIQUE	26
II.2.1	Présentation du projet	26
II.2.2	Modélisation des différents éléments de la maquette.....	27
II.2.2.1	Voirie et plateforme	27
II.2.2.2	Création des réseaux.....	31
II.2.2.3	Aspect architectural.....	32
II.2.2.4	Paysager	34
II.2.3	Assemblage de toutes les maquettes métiers pour la création d'une maquette numérique	
Infra	37	
II.2.3.1	Mise en place des outils de collaboration.....	37
II.2.3.2	Création d'un environnement réaliste et insertion des maquettes métiers.....	38

II.2.3.3	Vérification de la cohérence des différentes maquettes.....	40
II.3	CONCLUSION	41
III	UTILISATION DE LA MAQUETTE NUMERIQUE	42
III.1	UNE AIDE A LA COMPREHENSION.....	42
III.1.1	Une première vision de l'aménagement.....	42
III.1.2	Un socle pour la prise de décision et la confirmation des attentes du maître d'ouvrage	43
III.2	UN OUTIL SUPPLEMENTAIRE POUR LA PRODUCTION	45
III.2.1	Création d'une base de données grâce à la maquette numérique	45
III.2.1.1	Exportation de la maquette numérique sous forme de base de données	45
III.2.1.2	Exploitation de la base de données.....	46
III.2.2	Mise en place d'un système de planification.....	47
III.2.2.1	Création des différentes phases	47
III.2.2.2	Bénéfice de cette planification	48
III.2.3	Support d'infographie	49
III.3	UN SUPPORT POUR LA GESTION DE CHANTIER ET POUR LA VIE DE L'OUVRAGE.....	51
III.3.1	La maquette numérique pour les entreprises	51
III.3.1.1	Meilleure compréhension des travaux à effectuer	51
III.3.1.2	La maquette numérique de réalisation.....	51
III.3.1.3	Un gain de temps dans la réalisation de plusieurs tâches	52
III.3.2	Suivi de chantier.....	53
III.3.3	Gestion de l'ouvrage sur son cycle de vie.....	54
III.4	INTERACTION AVEC LES DONNEES D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	55
	Conclusion générale	56
	Bibliographie	59
	Liste des figures.....	72

Introduction

Lors d'une conférence qui s'est déroulée au dernier BIM World à Paris en avril, la notion de TIM (Territory Information Modeling) a été évoquée. L'usage des méthodes de travail qui définissent le BIM est loin d'être limité au bâtiment. Elles présentent de tels avantages que son expansion se développe à l'échelle d'une ville, on parlera alors de CIM, et tendent également à être utilisées sur tout un territoire, le TIM donc.

Le travail collaboratif à partir de maquette numérique existe depuis une vingtaine d'années dans le bâtiment, ce qui a permis de définir de nombreuses notions indissociables de ce travail¹. Son utilisation est donc structurée et permet une grande diversité de tâches. C'est pourquoi depuis peu, ces méthodes se sont étendues aux ouvrages annexes du bâtiment, les infrastructures. Aujourd'hui, l'acronyme BIM signifie plus une façon de travailler qu'une restriction au bâtiment. La notion de BIM « Infra » est pour le moment plus utilisée que le CIM, et son maniement est illustré principalement par de grands projets menés par les entreprises leaders dans le secteur du BTP.

Un projet Infra implique de nombreux intervenants avec des tâches hétérogènes, leur collaboration va être une des clés de la réussite du projet. Nos voisins anglais ont déjà bien intégré les avantages du BIM puisque son utilisation de niveau deux est obligatoire depuis 2016 pour tous les projets publics importants. En France, son implémentation est en bonne voie et de nombreuses actions vont dans ce sens comme le PTNB et le plan BIM 2022 qui en est la suite. Ces mesures visent à développer le BIM chez tous les acteurs du monde de la construction, notamment les petites/moyennes entreprises.

Le bureau d'études BEAUR, situé à Romans-sur-Isère dans la Drôme, est spécialisé dans les études d'ingénierie et de maîtrise d'œuvre dans le domaine des infrastructures. C'est une structure qui emploie vingt-cinq personnes, elle fait donc partie des plus importants bureaux d'études du secteur Drôme-Ardèche. Ce qui lui permet de réaliser la plupart des aménagements de moyenne envergure des collectivités, sans rivaliser avec les grandes firmes du BTP sur des projets de tailles plus importantes. Les dirigeants ont conscience du développement de nouvelles technologies dont le BIM « Infra » fait partie. Bien que, pour le moment, ce bureau ne réalise aucun projet en BIM, ils se doivent de

¹ Voir en annexe 1 les généralités sur le BIM

s'informer sur ce sujet afin d'être un acteur porteur du BIM « Infra » dans le secteur et d'être compétitif sur ce domaine dans un futur proche. C'est pourquoi ils ont décidé d'étudier l'implémentation du BIM au sein d'un bureau d'études de taille intermédiaire, comme le leur, par le biais de mon travail de fin d'études.

Ce rapport se présente en trois parties. La première consiste en un « Etat de l'art » du BIM consacré aux infrastructures. Il existe de nombreux logiciels permettant d'aboutir à une maquette numérique Infra, pour autant les bureaux d'ingénierie VRD n'ont pas la pratique 3D permettant d'évoluer facilement vers le BIM qui reste un système développé pour les projets Bâtiment. L'application des méthodes BIM présente donc des limites qui retardent leur expansion en Infra. Ensuite, nous verrons le déroulement des différentes modélisations qui conduisent à la maquette numérique de conception et la collaboration qu'elle implique. Enfin, nous détaillerons par quels moyens cette maquette va évoluer pour devenir la maquette de réalisation puis de gestion et quels acteurs auront exploité ces maquettes.

I Etat de l'art

Cette première partie a pour objectif d'apporter les connaissances de base qui sont nécessaires pour une compréhension correcte des parties à suivre.

I.1 Application du BIM à des domaines élargis : le « BIM Infra »

Comme vu précédemment, le BIM se définit comme un véritable processus de travail. Son utilisation n'est donc pas bridée au bâtiment seul ; depuis quelques années, il vient s'appliquer aux projets linéaires et plus largement à tout type d'infrastructure.

I.1.1 Définition

Dans un premier temps, il est important de définir la notion d'infrastructure, afin de mieux appréhender le sujet sur lequel va porter ce travail. « Une infrastructure est l'ensemble des installations réalisées au sol ou en souterrain permettant l'exercice des activités humaines à travers l'espace. Elles comportent notamment :

- Les infrastructures de transport : voirie et stationnement ; chemin de fer et métros ; rivières, canaux et ports ; aéroports etc ;
- Les aménagements hydrauliques, énergétiques, de communication ;
- Les réseaux divers (réseaux humides et secs) ;
- Les espaces collectifs aménagés (parcs, jardins, cimetière, terrains de sport). »²

La définition du BIM Infra est la même que celle du BIM pour le bâtiment, seulement l'objet modélisé est différent.

Le BIM Infra va produire en général un outil légèrement différent du BIM classique ; en effet la notion de maquette numérique urbaine est associée au BIM Infra, ce qui est rarement le cas pour le BIM classique qui produit en général une maquette numérique de bâtiment. Le BIM Infra peut correspondre à du CIM car il produit des ouvrages d'envergure, d'où cette notion de maquette numérique urbaine qui est une représentation géométrique d'un aménagement associé à son environnement, dans le but de réaliser différentes interactions.

² Définition de Pierre Merlin et Françoise Choay issue du dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement

I.1.2 Les mesures de développement nationales

La France n'a pas été un pionnier du BIM, mais concernant la modélisation et l'interopérabilité des projets d'infrastructures nous pouvons dire que c'est un acteur majeur.

I.1.2.1 Le projet COMMUNIC

Dès 2007, un projet mené par l'agence nationale de la recherche nommé COMMUNIC (Collaboration par la Maquette Multi-Usage Numérique et l'Ingénierie Concourante), pour sujet central les infrastructures. Cette recherche a pour objectif d'étudier et présenter les avantages d'un travail collaboratif et d'une forte communication entre les principaux acteurs d'un même projet. Ces aspects seraient centrés sur une maquette numérique qui permettra une visualisation anticipée de l'ouvrage et un support de différentes études. Ce sont exactement les objectifs du BIM qui vont être abordés par ce travail de recherche qui s'est déroulé pendant trois ans. En décembre 2010, un rapport scientifique accompagné de trois livrables spécifiques, qui se sont basés sur des retours d'expérience et l'analyse de projets d'infrastructure, est livré.

A partir de ce travail, les premières recommandations sont établies pour les entreprises qui souhaitent développer ces méthodes de travail, ainsi que les pistes d'améliorations. L'interopérabilité est l'élément fondamental à développer pour permettre l'application totale de ce processus. A travers le livrable L3, une correspondance entre les objets dit « infra » et ceux existants est faite pour établir une éventuelle structuration de ces éléments.

I.1.2.2 Le projet MINnD

L'émergence du BIM est telle, notamment pour les infrastructures, qu'un projet national de recherche est lancé en mars 2014, le projet MINnD (Modélisation des Informations Interopérables pour les infrastructures Durables). Ce projet s'est déroulé pendant quatre ans, jusqu'en 2018, et ses objectifs principaux étaient :

- Structurer les informations à échanger par tous les acteurs pendant le cycle de vie d'une infrastructure (de la conception à la maintenance) ;
- Spécifier les outils à développer pour intégrer les méthodes de travail ;

- Contribuer au développement du BIM pour la transition écologique et numérique des infrastructures et des aménagements durables.

A l'issue de ces années de recherches en collaboration avec tous les acteurs de la conception, construction et exploitation des infrastructures, les résultats sont probants (mise en place de guide d'application du BIM Infra, participation importante à l'extension des IFC infra avec une structuration des informations et un début de normalisation). Le sujet du BIM appliqué aux infrastructures est toujours en phase de développement et le projet MINnD a pu identifier des perspectives d'évolution à travers leur recherche. C'est la raison pour laquelle une saison 2 de ce projet de recherche est prévue de 2019 à 2021 avec comme axes de recherches : la poursuite du développement des IFC Infra, la modélisation de l'existant, les modalités de réception en BIM ...

I.1.3 Le format IFC pour les infrastructures

Aujourd'hui, les extensions du format IFC spécifiques aux infrastructures sont restreintes. La première qui est apparue est une extension de l'IFC4, l'IFC Alignment qui prend en compte la notion d'alignement correspondant à l'axe d'un projet linéaire. Cet axe possède un alignement horizontal et vertical ainsi qu'un profil en travers afin d'être défini en trois dimensions.

Puis, il y a des extensions qui seront très prochainement intégrées, c'est le cas des IFC Bridge qui sont à présent jugés complets, la définition des différentes classes de cette extension s'est appuyée sur celles du CityGML et du LandXML. Cependant, cette extension n'est pas encore implémentée car d'autres extensions devraient rapidement arriver (IFC Road pour les routes, IFC Rail pour les voies ferrées, IFC Tunnel pour les tunnels) pour atteindre l'IFC 5 qui permettra de mieux structurer les maquettes numériques d'infrastructure.

I.1.4 Les outils de réalisation du BIM Infra

Contrairement au BIM qui utilise dans la quasi-totalité des cas un seul logiciel de modélisation, le BIM Infra nécessite l'utilisation de plusieurs logiciels avec des fonctionnalités différentes afin d'obtenir une maquette numérique de qualité. Une présentation non-exhaustive des principaux logiciels permettant la réalisation du BIM Infra est réalisée.

I.1.4.1 Les logiciels de modélisation de bâtiment

Afin de permettre une bonne intégration de l'infrastructure dans son environnement, l'incorporation de bâtiment ou d'ouvrages peut être nécessaire. Il existe plusieurs logiciels qui permettent de réaliser une maquette numérique de bâtiment tels que Revit, ArchiCAD, Allplan ou encore Tekla structure. Ces logiciels permettent évidemment la lecture et l'écriture de fichier au format IFC.

I.1.4.2 Les logiciels de modélisation d'infrastructure linéaire

Il existe là encore plusieurs solutions pour la création en trois dimensions des projets linéaires :

- AutoCAD Civil 3D : Il permet la réalisation de projets d'infrastructures composée d'objets intelligents tels que des routes, des ponts, des carrefours et giratoires, des tunnels, des réseaux de canalisations ... Il possède évidemment un export vers le format IFC
- Covadis : C'est un logiciel qui s'intègre dans l'environnement de travail d'AutoCAD et qui permet la conception de projets d'infrastructures, une extension est dédiée aux projets linéaires, Autopiste. Depuis plusieurs versions (Covadis 15), il est possible d'exporter un projet IFC mais aussi d'importer des fichiers IFC, une fonctionnalité qui peut être très utile dans le but d'unifier plusieurs sources de données IFC.
- Infraworks : Il s'agit du logiciel incontournable en vue de produire une maquette numérique urbaine de qualité sur une vaste étendue. En effet, ce produit d'Autodesk permet la conception d'infrastructures intelligentes sur une grande zone d'étude. Dans un premier temps, il peut permettre les études préliminaires et une simulation rapide du projet. Cependant, pour du détail important, il faut utiliser les logiciels vus précédemment. Puis, Infraworks est un logiciel qui permet la lecture de nombreux formats (CityGML, ifc, shp, BDD, raster, imx ...) et qui possède une interopérabilité développée avec les solutions Autodesk et notamment AutoCAD Civil 3D. Cet aspect permet d'obtenir l'ouvrage dans son environnement. A ce jour, Infraworks ne permet pas l'écriture de fichier IFC ; le manque de structuration de ce format pour les

données Infra en est la principale cause³. Il paraît évident qu'un export de ce type sera développé dès la sortie des extensions Infra du format IFC.

I.1.4.3 Les logiciels de gestion

Les logiciels conçus par Autodesk possèdent un avantage indéniable pour travailler en BIM, ils sont interopérables et permettent la réalisation de multiples tâches. Il y a bien sûr un logiciel de gestion édité par Autodesk, il s'agit de Navisworks. Ce dernier permet également l'assemblage de données grâce à la lecture de format comme l'IFC, le FBX (pour échanger avec Infraworks). Navisworks est l'un des seuls logiciels d'Autodesk qui réalise la détection de clash, puis il permet la coordination du projet à venir par l'intégration de la notion de temps (4D) et de coût (5D). De multiples simulations en fonction du temps vont être réalisables, il représente un outil prévisionnel.

I.1.4.4 Les plateformes collaboratives

Une notion indissociable des méthodes de travail BIM est la collaboration entre tous les acteurs d'un même projet ; afin de faciliter ces échanges, des plateformes (ou serveur accessible par connexion internet) permettent de partager et communiquer les données réalisées par les différents intervenants. Il en existe plusieurs, conçues soit par des éditeurs de logiciels ou par l'initiative du gouvernement :

- BIM 360 : C'est la plateforme proposée par Autodesk, elle possède des connexions directes avec les autres logiciels Autodesk.
- Trimble Connect : Elle est conçue par Trimble, elle possède une connectivité directe avec le logiciel de modélisation Tekla.
- KROQI : Cette dernière est issue du PTNB et constitue un des axes de développement du Plan BIM 2022, son avantage principal est d'être gratuite pour le moment, des extensions payantes seront disponibles dans le futur.

³ Réponse obtenue après consultation de l'éditeur Autodesk en mai 2019

I.1.4.5 Les logiciels de visualisation

Les maîtres d'ouvrage ne sont pas tous des professionnels du bâtiment possédant des logiciels capables de lire des formats propriétaires ou de créer des fichiers au format IFC, notamment les collectivités. C'est pourquoi il est indispensable de connaître des logiciels, de préférence gratuit, que pourra obtenir un maître d'ouvrage afin de visualiser la maquette numérique qui va lui être fournie.

- Tekla BIMsight : C'est un logiciel développé par Trimble, gratuit, il faut simplement créer un compte utilisateur. Ce viewer permet de visualiser n'importe quel type de fichier IFC et possède plusieurs fonctionnalités pour analyser et annoter la maquette, dont la plus importante est sans aucun doute la détection de clash⁴.
- Solibri Model Checker : Ce viewer est édité par la société Nemetschek, il est proposé sous différentes versions, dont une qui est gratuite, il suffit également de créer un compte utilisateur. Il possède plus d'outils que Tekla BIMsight pour analyser la maquette (prise de mesure plus simple, réalisation de coupe) mais ne permet pas la détection de clash.
- eveBIM : C'est un viewer gratuit conçu par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) permet seulement de visualiser la maquette. Il est en relation directe avec la plateforme collaborative KROQI.

I.1.5 Les limites du BIM Infra

Les avantages apportés par l'utilisation du BIM ne sont plus à prouver ; développé au travers des grands projets de bâtiment et donc d'utilisation courante pour les grandes sociétés d'ingénierie (tous corps d'état), le BIM reste très peu employé par les professionnels de l'ingénierie spécialisée, surtout dans le domaine des infrastructures (VRD/paysage). Les méthodes de travail ne sont pas facilement accessibles aux petites structures indépendantes du fait d'un investissement matériel et humain (formation)

⁴ Terme utilisé pour désigner la collision entre deux éléments

important. De plus, certains aspects sont encore à développer afin de rendre son usage optimal et accessible par tous les projeteurs, techniciens, ingénieurs chargés des études et maîtrises d'œuvre en Infra.

I.1.5.1 De nouvelles méthodes de travail

Le BIM demande un investissement conséquent, il requiert l'utilisation de nombreux logiciels par des personnes qui devront être formées pour devenir compétentes. C'est la raison principale du développement du BIM, en premier lieu, au sein des grands groupes qui disposent de facilités pour investir ; contrairement aux PME qui possèdent des moyens limités et présentent des difficultés à mettre en œuvre de nouvelles méthodes de travail du fait du coût des investissements (matériels/logiciels) et du temps passé par les salariés en formation. Le BIM s'est ainsi naturellement développé dans le cadre de gros projets de bâtiments traités par les grands groupes du BTP au travers de contrats en 'Entreprise générale' (un seul marché de travaux pour tous les corps d'état) ou en Concessions ou plus récemment en 'Marché global de performances' (un seul marché regroupant la conception, la réalisation et l'exploitation de l'ouvrage construit).

Dans les marchés publics qui concentrent une bonne partie de l'activité de construction en France, le recours au BIM est encore très marginal dans la masse des opérations lancées dans le domaine du bâtiment ; il n'apparaît que sur les projets des très grosses collectivités territoriales (lycées pour les Régions par exemple).

Les opérations de travaux sur les bâtiments publics sont encore traitées le plus souvent en lots séparés ; ce schéma (qui est d'ailleurs la solution de base imposée par le Code de la Commande Publique) conduit couramment à la passation de 12 à 15 marchés indépendants de travaux, souvent attribués à des PME, pour construire le bâtiment sous le contrôle d'une équipe de maîtrise d'œuvre, laquelle rassemble autour de l'architecte mandataire plusieurs bureaux d'études spécialisés (souvent entre 4 et 7); un très petit nombre de ces acteurs (surtout du côté des entreprises, mais aussi de la maîtrise d'œuvre) est aujourd'hui opérationnel en BIM ; dans le domaine des infrastructures, les opérations peuvent concerner les aménagements périphériques au bâtiment (dans ce cas, les travaux de VRD sont un lot spécifique de l'opération globale), ou alors être totalement détachées du bâtiment quand il s'agit par exemple d'un projet d'aménagement d'un espace public urbain (places, parkings, traversée d'un village...); sur ce dernier type d'opérations qui constitue aujourd'hui le cœur de métier de BEAUR, il y a moins d'intervenants différents

(moins de lots indépendants : en général au maximum 4 à 5 pour les travaux) mais l'usage du BIM est quasi inexistant tant au sein de la maîtrise d'œuvre que des entreprises de travaux.

I.1.5.2 L'interopérabilité entre tous les logiciels

Le format IFC apparaît comme incontournable pour la création de maquette numérique, les développeurs de logiciels l'ont bien compris ; en effet aujourd'hui un logiciel de modélisation qui ne propose pas d'export dans ce format ne pourra pas, ou peu, convenir au processus BIM. Pour les infrastructures, il est encore en voie de développement et dans l'attente de l'IFC 5 (qui va intégrer ces extensions « infra »), il ne permet pas une exploitation complète de ces objets. De plus, l'export IFC à partir de certains logiciels peut entraîner la perte d'informations, en effet tous les attributs visibles depuis le logiciel ne seront pas tous exportés.

Il convient également de relever que les échanges entre logiciels de développeurs différents sont complexes, certains ne permettent pas la lecture de format IFC, ou alors l'exploitation des objets IFC importés sera faible. Cet aspect amène donc à utiliser des logiciels issus d'un même fournisseur, et donc à travailler en closed BIM afin de garantir une bonne interopérabilité. Autodesk est sans aucun doute la société qui propose des logiciels couvrant l'ensemble des besoins pour travailler en BIM et dont l'interopérabilité entre logiciels est un vrai point fort.

I.1.5.3 L'adaptation de plans en deux dimensions

Dans le déroulement des projets d'infrastructures et notamment des projets linéaires, des investigations préliminaires sont nécessaires afin de connaître l'état actuel du terrain, en particulier l'état des réseaux existants. Depuis la réglementation DT/DICT⁵, les exploitants de réseaux sont dans l'obligation de mettre à jour une plateforme internet⁶ mise en place pour cette réforme en ajoutant tous les nouveaux réseaux qu'ils réalisent et ceux de manière précise et géoréférencé, mais aussi ceux qui existent déjà. Cette nouvelle règle oblige les maîtres d'ouvrages à envoyer une déclaration de travaux aux exploitants afin de

⁵ Entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2012

⁶ Appelé le guichet unique

connaître l'emplacement des réseaux sur la zone de leur projet. Puis ces exploitants doivent renvoyer la cartographie des réseaux existants. La personne qui travaille en BIM devra trouver une solution pour traiter ces données afin de réaliser les études de faisabilité.

Il est souhaitable que dans le futur cette plateforme puisse recenser tous les réseaux également en trois dimensions, et qu'en plus d'une cartographie 2D de ces réseaux, un fichier IFC pourrait être livré.

I.2 Déroulement actuel du BIM Infra

La bonne réalisation d'un projet BIM implique une définition précise des rôles de chaque intervenant et des objectifs attendus par ce processus de travail. Les acteurs et les documents réglementaires seront les mêmes que ceux du BIM appliqué au bâtiment, il y aura simplement des différences de contenu et de compétences.

I.2.1 Les acteurs d'un projet BIM

Le BIM connaît une grande expansion et investit un nombre de projets de plus en plus important. Il y a donc de nombreuses personnes mobilisées par ces processus de travail qui entraînent la création de nouvelles professions, il paraît évident de s'informer sur ces professions afin de savoir qui est notre interlocuteur.

- L'assistant maîtrise d'ouvrage en BIM : Il possède un rôle d'accompagnement, il va dans un premier temps étudier la faisabilité et la rentabilité d'une mise au BIM sur tout le projet. Puis lorsque son utilisation est confirmée, il va aider le maître d'ouvrage à rédiger sa charte BIM et un cahier des charges BIM qui répondent aux besoins de ce dernier, en détaillant tous les points essentiels pour le déploiement du processus BIM. Il participe également à la sélection des équipes de maîtrise d'œuvre et contrôlera les maquettes numériques fournies par ces équipes. Cependant, l'AMO BIM ne possède pas de responsabilités, il conseille seulement le maître d'ouvrage qui garde les responsabilités sur toutes les prises de décisions.
- Le BIM Manager : Cette nouvelle fonction ne possède pas de définition précise, il n'existe pas non plus de formation a proprement parlé pour devenir BIM Manager. Ce métier et ses rôles se sont définis par les besoins que nécessite l'exécution d'un projet en BIM. Il intervient au sein d'une équipe de maîtrise d'œuvre, il définit les objectifs BIM du projet et la mise en place du processus

pour les atteindre. Il s'occupe de coordonner toutes les informations (2D et 3D) à sa disposition, d'en vérifier la cohérence pour optimiser le temps de travail de l'équipe d'ingénierie dans laquelle il intervient. Le BIM Manager, sans être spécialiste, doit comprendre les techniques de réalisation d'un ouvrage afin de connaître les besoins de chaque intervenant pour les aider à y répondre avec la maquette numérique.

- Le coordinateur BIM : Il possède des fonctions similaires à celle du BIM manager mais à l'échelle de son entreprise, il fait le lien entre le BIM manager et les équipes métier.
- Le projeteur BIM ou modelleur BIM : Il s'agit de la personne qui possède le plus de connaissances dans les logiciels de modélisation, ses tâches principales seront de réaliser les différents éléments de la maquette.

I.2.2 Les documents qui réglementent le projet

Avant de travailler en BIM, il est indispensable de connaître les documents primordiaux qui permettent de définir les attentes du client et les tâches à effectuer pour assurer le bon fonctionnement du projet.

- La charte BIM du maître d'ouvrage : A travers ce document, le maître d'ouvrage définit les grandes attentes du BIM et définit les dispositions obligatoires à respecter par les futurs prestataires. Ces attentes seront définies plus en détail dans le cahier des charges BIM. Ce type de document est propre au maître d'ouvrage qui souhaite garder une cohérence entre leurs différents travaux.
- Le cahier des charges BIM (du projet) : Il est rédigé par le maître d'ouvrage (aidé si besoin d'un AMO BIM), ce document lui permet de définir les besoins et les objectifs du projet à venir. L'intérêt principal de ce document est de réglementer les attentes en BIM tout au long du projet. En effet, il va décrire le cadre de travail des prestataires en imposant le contenu des maquettes numériques en fonction de l'avancée du projet. Il prévoit l'utilisation du BIM sur le futur aménagement de sa conception jusqu'à son exploitation et sa gestion.

- La convention BIM : Elle est rédigée au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre par le BIM manager, elle permet de répondre au cahier des charges BIM, elle doit bien entendu être en accord avec ce dernier. Cette convention permet au maître d'œuvre de décrire toute la méthode BIM (organisation, le rôle et les responsabilités des différents intervenants, la gestion et l'échange des données, l'environnement collaboratif et les livrables) qu'il va mettre en place pour respecter les objectifs du maître d'ouvrage. Une convention type est proposée sur le site du PTNB.
- Plan d'exécution BIM : Il est rédigé par le coordinateur BIM d'une entreprise, ce plan traduit les exigences BIM, attendus par son entreprise membre de l'équipe de conception et/ou de réalisation, en corrélation avec la convention BIM et le cahier des charges BIM.

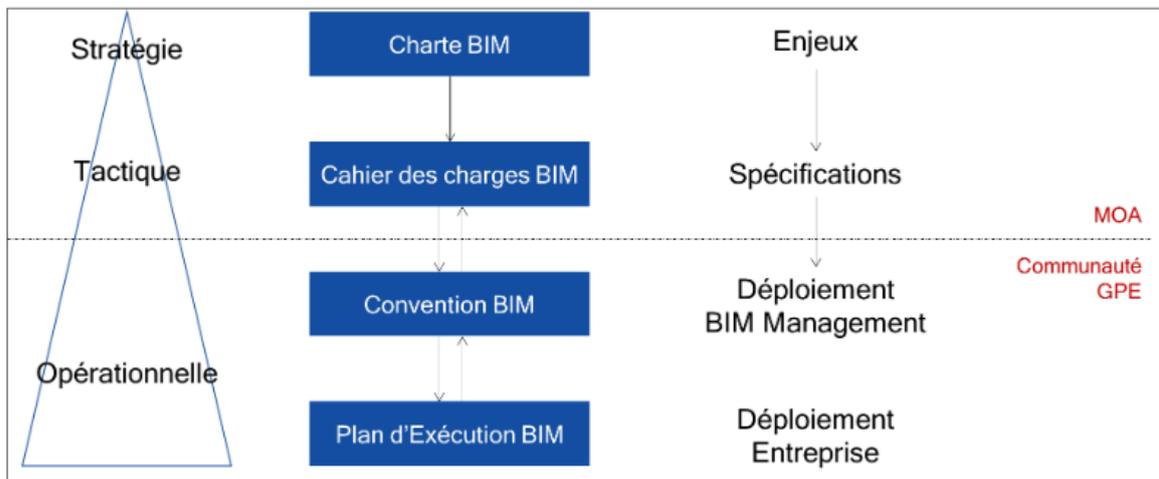


Figure 1 : Structuration de la démarche BIM (Source : Charte BIM de la société du Grand Paris)

I.2.3 Critique de l'utilisation du BIM Infra pour des petites structures

La notion de BIM est aujourd'hui connue de tous les professionnels du bâtiment et de la construction et ne se limite plus à un simple édifice. J'ai eu la chance de participer aux conférences du BIM World les 2 et 3 avril derniers. J'ai donc pu constater que celles ayant pour sujet principal le BIM pour les infrastructures étaient très fréquentées, bien plus que celle qui définissait les nouveaux métiers du BIM. Ceci démontre que la connaissance en BIM de tous les professionnels augmente et qu'ils sont particulièrement ouverts à le développer en dehors du bâtiment. Cependant, la totalité des projets Infra présentés pendant ces deux jours sont tous des projets d'envergure avec une enveloppe de plusieurs millions voire dizaines de millions d'euros. Ils sont sans aucun doute très flatteurs pour les

méthodes de travail BIM avec de superbes maquettes à l'échelle de tout un quartier ou longues de plusieurs kilomètres. Les avantages du BIM sont plus simples à démontrer pour ce genre de projet que lorsqu'il s'agit d'un simple aménagement de voirie communale de trois cents mètres. En effet, sur ces projets d'envergure, l'utilisation du BIM va apporter un réel bénéfice lors des phases de conception et de construction. En outre, le maître d'ouvrage de l'infrastructure possède un intérêt à travailler en BIM, il va obtenir un véritable support pour la gestion et la maintenance de son ouvrage.

La question est donc de savoir si l'utilisation du BIM pour des projets de petite taille peut être rentable. Il est fort probable que toutes les personnes ayant assisté à ces conférences ne soient pas des employés de multinationale, qui réalisent ces projets fantastiques. Il y a plus de chances que ce soit des responsables de bureaux d'études ou d'entreprises plus modestes qui cherchaient comment appliquer le BIM sur leur projet d'aménagements. Les avantages du BIM sont indéniables en phase de conception et construction même sur ces chantiers. Cependant, l'initiative de son utilisation ne viendra pas du client, et comment vendre du BIM à un maître d'ouvrage qui ne sait même pas ce qu'est le format IFC et pour lequel la maquette n'aura plus aucun intérêt une fois l'aménagement terminé. C'est toute la difficulté aujourd'hui du développement du BIM Infra pour des projets de faible coût. Mais le BIM connaît une croissance tellement importante qu'il paraît inévitable pour les professionnels d'être prêt à le déployer. Puis le BIM attire le BIM, quand un élu ou un aménageur aura réalisé son premier projet Infra en BIM, il aura intérêt à faire les suivants de la même façon afin d'avoir un parc de gestion de ses ouvrages. Dans la même idée, les projets importants concernant des bâtiments publics qui se traitent en BIM vont inciter à traiter en BIM les aménagements d'espaces publics situés en périphérie du bâtiment.

I.2.4 Retour d'expérience

Pendant la durée de ce travail, j'ai rencontré des professionnels qui pratiquent le BIM Infra, j'ai donc pu obtenir leur avis sur certaines questions :

Rencontre avec Omar Djoudi, responsable service BIM chez ECARTIP, un bureau d'études qui réalise de nombreux projets en BIM. J'ai obtenu dans un premier temps son avis sur l'open et le closed BIM, bien que le closed BIM permet d'obtenir dans la majorité des cas un rendu plus réaliste et une perte d'information plus faible, il préfère travailler avec le format IFC qui est le standard du BIM. Puis si chaque projet se déroule en closed

BIM, les producteurs de logiciels n'amélioreront jamais leur export IFC. Puis j'ai pu obtenir son retour d'expérience pour la saisie des réseaux existants. Il ne fait pas une confiance totale aux plans de recollement, dont on ne connaît pas la méthode de réalisation. La structure ECARTIP effectue de la détection de réseaux et réalise quand il est nécessaire la détection des réseaux existant en amont d'un chantier qu'il vont traiter en BIM, de plus cette détection est souvent obligatoire avant le début des travaux.

Un avis commun de plusieurs professionnels a pu être constaté sur l'implémentation du BIM au sein de leur structure. Les premiers projets qu'ils ont traités en BIM n'imposent pas forcément son utilisation, ils se sont entraînés en parallèle à la modélisation afin de permettre à leurs équipes de gagner en expérience sur ce sujet. Ce qui peut représenter une possible perte de temps au départ, mais lorsqu'ils ont répondu à des appels d'offres sur projets à réaliser BIM, leurs équipes possédaient une certaine maturité en BIM et ont pu répondre rapidement et efficacement aux demandes exigées par les maîtres d'ouvrage.

La place des entreprises est essentielle dans la réalisation d'un aménagement puisque 75% de son coût est lié à l'exécution des travaux. Pour qu'une entreprise comprenne le travail qu'elle devra réaliser en BIM, il est impératif que les attentes des maîtres d'œuvres et du maître d'ouvrage soient claires dans le dossier de consultation des entreprises. La maquette numérique va présenter de nombreux intérêts pour les entreprises, le premier étant une meilleure compréhension pour les équipes grâce à la visualisation en trois dimensions de l'aménagement. Elle sera de plus un support pour la réalisation des plans d'installation de chantiers qui sont liés à une planification 4D, et potentiellement dans la réalisation de différents plans d'exécution.

I.3 Conclusion

Le BIM Infra n'a à ce jour pas encore totalement trouvé sa place quand on parle de BIM et plus encore sur des projets de petite envergure. J'ai pu participer à plusieurs conférences sur le BIM (BIM World, REX BIM Tour) et la grande majorité des retours d'expériences présentés concernent le BIM appliqué au bâtiment ; même si lors du BIM World certains gros projets Infra ont été exposés.

La partie Infra du BIM est toujours considérée comme nouvelle aujourd'hui mais tend à se développer et cela très rapidement. Pour l'instant le BIM Infra est principalement demandé sur des projets mixtes, qui englobe le bâtiment et ses aménagements annexes. Ces

types de travaux permettent de démontrer les avantages du BIM sur la partie Infra et vont inciter les maîtres d’ouvrage à utiliser de plus en plus ces méthodes de travail sur des projets uniquement Infra. L’évènement majeur qui permettra au BIM Infra de venir à la hauteur du BIM Bâtiment va être la sortie de la structuration de tous les éléments Infra par le format IFC. En effet, ce changement facilitera considérablement l’interopérabilité de ces données.

II Mise en œuvre d’une chaîne de production du BIM Infra

A présent que le contexte du BIM Infra et les notions qui l’accompagne sont définies, nous allons pouvoir rentrer plus en détail sur les méthodes de travail qui font la réussite du BIM : de la modélisation à la collaboration.

II.1 Préalable à la production

Certaines informations ne doivent pas échapper aux équipes de maîtrise d’œuvre pour permettre une réalisation de la meilleure maquette possible et sans perte de temps.

II.1.1 Les attentes du maître d’ouvrage

Le maître d’ouvrage est le premier initiateur d’un projet, il est la personne pour le compte de qui vont être réalisés les travaux et qui va les payer. Il est celui qui a pris la décision de travailler en BIM. C’est pourquoi ses attentes, spécifiquement dans ce domaine, doivent être définies de la meilleure façon possible afin d’optimiser la réalisation du projet. Comme vu précédemment le maître d’ouvrage dispose de plusieurs documents pour définir ses attentes.

II.1.1.1 Exprimées le plus tôt possible

L’apport du BIM est d’autant plus significatif lorsque les attentes du maître d’ouvrage sont définies à travers le cahier des charges le plus tôt possible. En effet, le groupement d’entreprises pourra se préparer aux méthodes imposées par le maître d’ouvrage.

II.1.1.2 Claires et explicites

Le maître d'ouvrage doit être réaliste sur ses attentes en BIM, notamment lorsqu'il débute en BIM avec des intervenants qui se mettent également progressivement à ces méthodes de travail. Afin de mesurer la valeur ajoutée du BIM, il est préférable de se concentrer sur quelques objectifs en lien avec les enjeux du projet. Plus les attentes seront précises et facilement identifiables, plus l'usage du BIM sera bénéfique.

II.1.1.3 Définir le niveau de BIM de chaque intervenant

A travers le cahier des charges, le maître d'ouvrage a défini ce qu'il attendait de la méthode de travail BIM. Ainsi que les compétences à avoir pour les différents acteurs en vue de la bonne réalisation du projet. Dans le but du « PUCA » (plan d'urbanisme construction et architecture), le projet BIMetric propose deux grilles qui permettent d'évaluer et de partager son niveau en BIM, accompagnées d'un descriptif des cas d'usage utilisés dans les deux grilles. La première grille est la plus simple à utiliser et celle qui permet le mieux de refléter son niveau en BIM. Elle est constituée de quinze critères basés sur l'expérience en BIM, les compétences et le développement du BIM au sein de sa structure.

II.1.2 Quels types de maquettes associer à chaque phase du projet

Il paraît évident qu'avec l'avancement d'un projet, la maquette numérique va évoluer et gagner en qualité. Il est important de savoir ce qui va être attendu à chaque phase afin de réaliser la maquette adéquate et optimiser la rentabilité du projet BIM.

II.1.2.1 En phase de concours

Pour cette étape il est difficile de décrire précisément ce qui peut être attendu, cela va dépendre essentiellement de ce qui est demandé par le maître d'ouvrage, et qui va lui permettre par la suite de sélectionner une offre. Mais il est possible qu'une entreprise rende une esquisse ou un avant-projet sommaire pour présenter au mieux son offre.

II.1.2.2 En phase d'esquisse

Les ouvrages linéaires seront décrits essentiellement par leur emprise. Un travail basé sur les différentes occupations du sol (espace vert, voies piétonnes...) devra être

réalisé brièvement. Le but principal de l'esquisse n'est pas d'avancer des données précises mais de faire comprendre les grandes orientations qui seront données à l'aménagement. Ce type de travail peut être réalisé aisément avec Infraworks.

II.1.2.3 En phase d'avant-projet

La maquette doit permettre la réalisation de plusieurs études. Un travail plus important va être demandé à ce stade puisqu'il va falloir annoncer un prix estimatif lié à la réalisation de l'aménagement. Ce dernier devra s'insérer de la meilleure façon possible dans son environnement. Lors de cette phase, les réseaux ne sont pas encore représentés mais l'écoulement des eaux doit être pris en compte et conditionnera la conception des réseaux. L'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite devra être prise en compte et la nature des surfaces au sol sera spécifiée.

II.1.2.4 En phase de projet

C'est pendant cette phase que sont prévus le positionnement et le dimensionnement des réseaux. La maquette doit être assez détaillée, tous les éléments doivent être renseignés et positionnés à leur bon emplacement, les incohérences décelées pendant l'avant-projet seront corrigées. Cette maquette numérique de conception doit rendre possible l'obtention du coût global de l'ouvrage avec peu d'incertitude. Une fois validée par le maître d'ouvrage, elle pourra être associée au dossier de consultation des entreprises.

II.1.2.5 Passage de la phase projet à l'exécution des travaux

La maquette numérique de conception va devenir la maquette numérique de réalisation par le biais des études et des synthèses d'exécution. Cette dernière devra être un support pour les entreprises dans la réalisation de leurs tâches.

A la suite des phases d'exécution, les entreprises devront transmettre les DOE par le biais de la plateforme collaborative qui seront pris en compte et intégrés à la maquette numérique.

II.1.2.6 En vue de la gestion et la maintenance de l'ouvrage

La maquette numérique de réalisation pourra être modifiée après la confection des dossiers d'ouvrages exécutés pour correspondre à l'ouvrage construit et devenir la maquette numérique DOE. Afin de fournir une maquette exploitable en vue d'une gestion

sur toute la vie de l'ouvrage, il va être essentiel qu'elle contienne tous les attributs techniques des éléments de la maquette. Il faut constituer une maquette BIM gestion qui rassemble les données géométriques et toutes les données techniques.

II.1.3 Aide à la production de la maquette numérique

Afin de réaliser une maquette de qualité, réaliste et correctement renseignée il existe des sites et des outils qui proposent des objets intelligents en trois dimensions et qui permettent de donner des attributs supplémentaires à un objet.

II.1.3.1 Bibliothèques d'objets

Il existe plusieurs sites qui proposent des objets en deux et trois dimensions dans plusieurs formats comme par exemple l'IFC, le dwg, le rvt, pdf ... Ces objets sont la plupart du temps modélisés par leurs fournisseurs, ils permettent de compléter la maquette avec des objets réalistes qui contiennent des attributs sur leur géométrie, leur nature, leur destination. Le leader en la matière est sans aucun doute BIMObject, qui propose en téléchargement gratuit environ 375 000 objets intelligents provenant de 1400 marques pour quelque quarante millions de téléchargements. Chaque produit proposé donne un lien direct vers le site du fournisseur pour obtenir encore plus de caractéristiques sur l'objet. Cependant la quasi-totalité des objets proposés concernent l'habillage intérieur/extérieur des bâtiments, il existe tout de même une catégorie « travaux publics et infrastructures » mais elle comporte seulement deux cents objets. Puis il existe des bibliothèques d'objets proposés directement par les fournisseurs, comme c'est le cas pour l'entreprise Saint-Gobain, un des leaders mondiaux dans la distribution de matériaux de bâtiments, transports et d'infrastructures. Leur bibliothèque est encore en développement et ne propose pour l'instant qu'une partie des produits proposés par l'entreprise. Le développement de ce genre de bibliothèques, à grande échelle comme celle de BIMObject ou à l'échelle d'un fournisseur, démontre une fois de plus l'obligation de s'instruire en BIM. Dans peu de temps, tous les produits posséderont leurs jumeaux numériques insérables dans les maquettes numériques.

II.1.3.2 Jeux de propriétés BIM

Depuis plusieurs versions Covadis intègre la notion de BIM et de nombreux outils permettent d'optimiser son utilisation. C'est le cas de l'outil « Propriétés BIM » qui permet

d'ajouter tous types d'attributs supplémentaires à un objet (voir la figure 4 ci-dessous). Ces informations sont bien entendues associées à l'export IFC de Covadis.

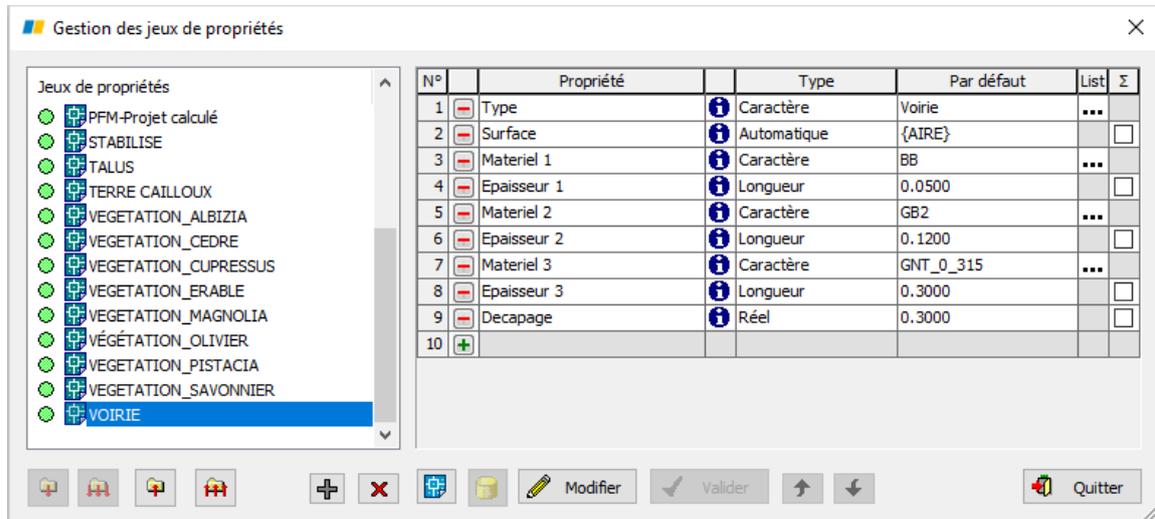


Figure 2 : Jeux de propriétés BIM

II.2 Mise en place d'un workflow afin de produire la maquette numérique

Afin de présenter la méthode mise en place pour la création de maquette numérique Infra, le même projet sera utilisé pour illustrer toutes les étapes de la démarche.

II.2.1 Présentation du projet

Il s'agit d'un projet mixte divisé en deux lots, le premier qui consiste à la réhabilitation d'une école pour sa mise en accessibilité et qui est confié à un architecte. Le deuxième, pour lequel est mandaté le bureau d'études BEAUR, est une mission de maîtrise d'œuvre sur l'aménagement des espaces publics en relation avec cette école et les autres bâtiments publics qui lui sont voisins. Ainsi il est prévu la création de deux aires de stationnements, une de type dépose-minute et l'autre de type stationnement occasionnel pour se rendre aux établissements publics, l'aménagement de cheminement piéton sécurisé et accessible aux PMR, création d'un accès à ces nouveaux équipements depuis la route existante, sécuriser l'entrée du village en permettant aux bus de faire demi-tour en dehors de la route ...

C'est un projet où le BIM n'est pas demandé par le maître d'ouvrage, mais il est intéressant pour ma structure de tester les méthodes de travail BIM sur ce projet car il présente des dénivelés importants où l'apport d'une maquette numérique va permettre de visualiser directement l'impact de ce relief.

II.2.2 Modélisation des différents éléments de la maquette

Au sein d'un projet d'infrastructure, quelle que soit la nature, il y a plusieurs acteurs qui vont intervenir au cours de la conception puis de la construction de l'aménagement. Chacun de ces acteurs est spécialiste dans un domaine et va produire les éléments de la maquette numérique dont il est le plus compétent.

Bien que plusieurs éléments soient modélisés par la même personne, le projeteur BIM, lorsqu'un bureau d'études possède de nombreuses compétences, leur conception vient elle d'acteurs différents comme les urbanistes, les ingénieurs, les paysagistes ... Ces intervenants sont dépendants les uns des autres pour réaliser la totalité du projet et la collaboration entre ces derniers devient primordiale.

La majorité des modélisations infra va nécessiter un prérequis afin qu'elle soit le plus réaliste possible : un modèle numérique de terrain qui va permettre le passage de la 2D vers la 3D. Cette donnée va être obtenue grâce au levé topographique effectué par un géomètre-topographe qui peut faire partie du groupe d'intervenants du projet BIM s'il réalise d'autres tâches par la suite, ou être un simple collaborateur à l'un des acteurs du projet.

II.2.2.1 Voirie et plateforme ⁷

Dans le domaine des infrastructures et notamment des VRD, il est plus simple de commencer par une modélisation en deux dimensions. En effet, un projet linéaire comme son nom l'indique se caractérise par un axe, auquel des informations en deux dimensions vont être ajoutées : longitudinales (profil en long) puis transversales (profil en travers). Cette combinaison d'informations en deux dimensions va permettre de calculer et d'obtenir l'aménagement en trois dimensions. Il en est de même lorsqu'on traite un projet de plateforme : dans un premier temps, il va falloir déterminer leur nature et leur emprise en deux dimensions pour les modéliser par la suite en trois dimensions.

La modélisation des projets linéaires est effectuée avec Covadis qui possède un module dédié uniquement à ces projets, AutoPiste, dans l'environnement d'Autocad. Elle est réalisée à partir du modèle numérique du terrain naturel et d'un tracé de la voirie qui

⁷ Il s'agit de la représentation en trois dimensions des différentes occupations du sol

sera caractérisée par de nombreuses côtes projet à respecter. A partir de ces données, un profil en long va être défini auquel des profils en travers, qui renseignent la configuration de la voirie à partir de l'axe, vont être spécifiés.

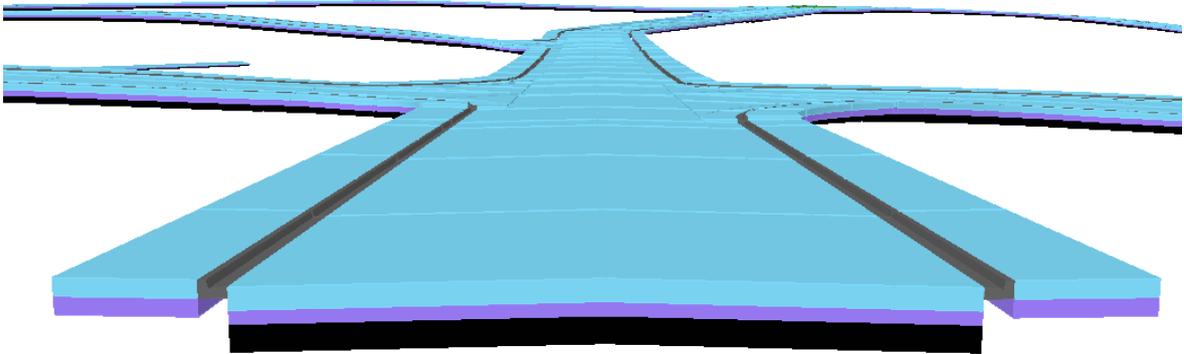


Figure 3 : Projet linéaire au format IFC

La réalisation des plateformes est effectuée avec l'aide des mêmes logiciels que pour les projets linéaires. Elle va se baser sur le plan des aménagements de surface, réalisé par un concepteur (urbaniste ou paysagiste), qui va indiquer le périmètre et la nature des plateformes ainsi que des côtes altimétriques et des pentes qui caractérisent le futur aménagement. Premièrement, il faut spécifier le MNT sur lequel va se baser le calcul des plateformes, ce qui permettra d'obtenir les volumes de déblai et remblai. Ensuite, l'outil plateforme de Covadis permet d'associer une altitude à tous les coins des périmètres 2D des différentes occupations du sol. Il permet également d'en définir la nature et la structure (matériaux et épaisseurs des différentes couches). Ainsi, pour chaque plateforme, il va être possible de retrouver ces éléments dans ses propriétés qui contiennent également les surfaces et volumes de matériaux nécessaires à sa réalisation et les volumes de déblais et de remblais qu'elle engendre. Afin de s'assurer de la bonne concordance des différentes plateformes à l'avancement, il est possible de les visualiser en trois dimensions grâce au visualiseur d'objets Covadis.

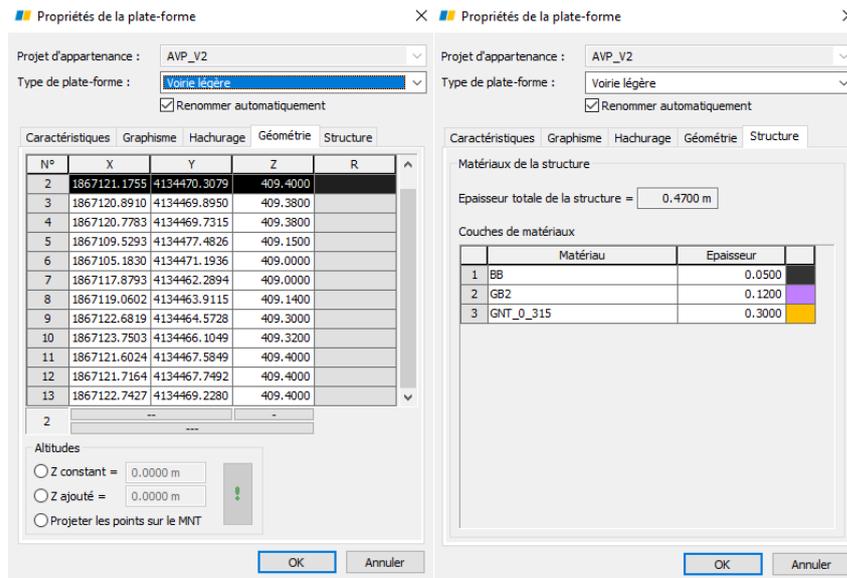


Figure 4 : Renseignement sur la géométrie et la structure des plateformes

Il est également possible de modéliser la voirie comme une plateforme, la qualité de cette dernière ne sera pas aussi élevée qu'une modélisation classique par profils, mais cela représente un réel gain de temps.

En effet suivant le type d'aménagement à réaliser, lorsque la voirie ne représente pas l'élément principal, il n'est pas indispensable d'utiliser la méthode des profils qui admet une gestion par axe de la voirie. Un projet de plateforme permet également d'obtenir les entrées en terre, déblais, remblais, la structure, les trottoirs et stationnements. Cependant, comme il ne s'agit pas d'une gestion selon un axe, il est plus complexe de gérer les dévers, ce qui est la différence principale. Puis, depuis la version 17 de Covadis, il existe un module consacré à la modélisation des bordures et caniveaux. Grâce à ce module, il est possible de modéliser toutes les particularités que contient un profil en travers type. Ainsi, même en utilisant une plateforme pour représenter la voirie, il est possible d'obtenir un rendu équivalent à celui fourni par la méthode par profil.

De cette façon, toutes les bordures du projet d'aménagement (qui séparent les espaces verts de la voirie) et les caniveaux (qui vont assurer l'évacuation des eaux pluviales) ont pu être créés. Cependant ces objets comportent peu d'attributs qui les caractérisent. Pour assurer la qualité de la maquette numérique, il est essentiel de créer un jeu de propriété BIM spécifique à ces éléments qui va octroyer plusieurs informations dont certaines pourront être renseignées plus tard (modèle de bordure, dimensions, fournisseur,

prix unitaire ...). Afin de terminer cette maquette, il est indispensable de représenter la signalisation qui sera projetée sur le modèle numérique de terrain projet.

A la suite de ces tâches de modélisation, il est possible d'effectuer un contrôle visuel global à l'aide d'un export vers Terravision, qui est disponible directement grâce au menu Covadis, et qui permet de s'assurer la qualité de la modélisation.

Et enfin, il va falloir partager la maquette voirie-plateforme avec les collaborateurs du projet. Cette dernière va être composée de plusieurs sous-maquettes (projets linéaires, plateformes, bordures, signalisations et les différents MNT). Il peut être intéressant de partager également les différents listings, éditables rapidement par le biais de Covadis, qui reprennent les caractéristiques des modélisations (projets linéaires, plateformes et bordures). Ces modélisations, notamment les modèles numériques de terrains, vont permettre la conception de plusieurs maquettes (réseaux, paysagère). Et enfin, Covadis permet d'exporter au format IFC ou IMX (format spécifique à Infracore) pour faciliter les échanges avec tous les acteurs du projet.

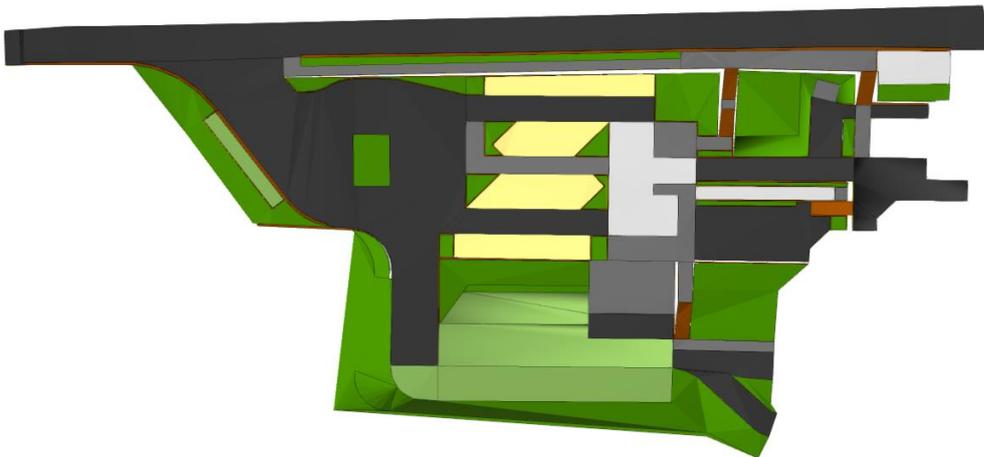


Figure 5 : Maquette voirie-plateforme au format IFC vue de haut



Figure 6 : Maquette voirie-plateforme au format IFC vue de devant (10 mètres entre le point bas et haut)

Comme ces éléments ne possèdent pas de classification IFC, la plupart se retrouvent dans la classe IFC BuildingElementProxy⁸, c'est celle qui contient tous les éléments de géométrie non définis par la structuration IFC. Ce qui est le cas pour tous les éléments issus d'un projet linéaire, pour les bordures et la signalisation.

Les modèles numériques de terrain possèdent une classe IFC, les IFC Site. Puis pour les plateformes, Covadis propose un export soit dans les IFC Slab ou parmi les IFC BuildingElementProxy. Les IFC Slab peuvent être constitués des « supports inférieurs (sol) du bâtiment⁹ ». Dans l'objectif d'une maquette numérique urbaine, nous pouvons étendre cette définition pour les plateformes, dans l'attente d'une classification spécifique. Cependant, si cette dernière va également être composée d'une maquette de bâtiment, il est préférable d'exporter les plateformes vers les IFC BuildingElementProxy afin d'éviter toute ambiguïté.

En ce qui concerne le format IMX, il permet par la suite de travailler avec Infracore qui offre un visuel d'excellente qualité, en revanche ce format n'exporte pas les jeux de propriétés BIM et la plupart des attributs pour l'instant. Si l'objectif est d'obtenir la maquette numérique BIM par le biais d'Infracore, il sera nécessaire de renseigner tous les attributs depuis ce logiciel.

L'import de données IFC dans Infracore n'est pas optimisé, en effet la géométrie des objets est déformée. Ceci peut être expliqué par le manque de structuration de ces données qui ne sont pas gérées de la même manière en fonction du logiciel.

II.2.2.2 Création des réseaux

L'un des points essentiels d'une maquette numérique Infra va être la représentation de tous les réseaux et des éléments qui les composent (les différents regards, canalisations, vannes, fourreaux...). Leur conception va être dirigée par le chef de projet qui va s'appuyer bien évidemment sur les voiries et plateformes conçues en amont.

⁸ Cette classe IFC pourrait être comparé au calque 0 d'un fichier dwg

⁹ Selon la définition de building smart (<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcslab.htm>)

Leur modélisation va s'effectuer également à l'aide de Covadis, depuis la version 17, un module est dédié à la représentation des réseaux d'assainissements et de fourreaux directement en trois dimensions. Ce module possède une bibliothèque très bien fournie avec de nombreux types de canalisations et regards. Cependant, il ne permet pas encore la modélisation des réseaux secs. Pour ces derniers, il est nécessaire d'utiliser l'ancien module et d'exécuter la commande « Modélisation 3D » pour générer ces réseaux en trois dimensions.

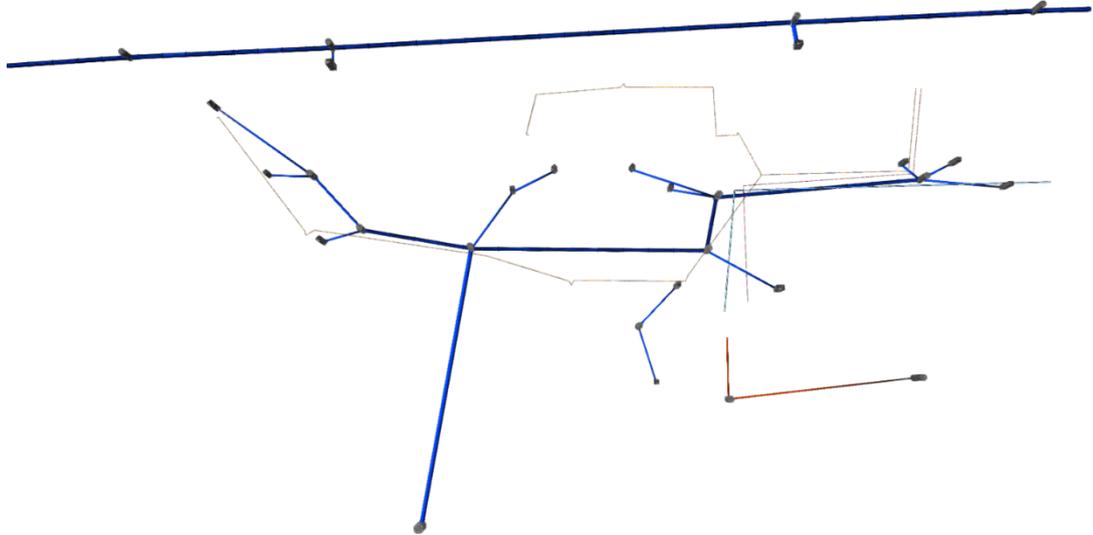


Figure 7 : Maquette réseau au format IFC

Ces éléments possèdent des classes IFC qui les caractérisent, puisqu'ils font également partie intégrante d'un projet de bâtiment. Ainsi, les canalisations sont exportées vers la classe IFC FlowSegment, les regards vers la classe IFC FlowFitting, c'est un paramètre d'export imposé par Covadis. Puis pour les réseaux secs, un choix est possible entre les classes IFC FlowSegment et IFC DistributionFlowElement. Selon les définitions de BuildingSmart, les éléments IFC FlowSegment définissent des objets droits avec deux ports (regards) ; tandis que les éléments IFC DistributionFlowElement définissent des objets qui facilitent la distribution d'énergie ou de matière. C'est donc cette dernière classe qui correspond aux réseaux secs. Covadis permet également un export de tous ces réseaux au format IMX.

II.2.2.3 Aspect architectural

Un projet dit « Infra », dans la majorité des cas, ne se limite pas à la conception des voiries et des réseaux. Malgré tout, ces éléments restent généralement le premier souhait du maître d'ouvrage et afin d'incorporer au mieux ces travaux il est nécessaire de prendre

en compte l'aménagement de tout un espace. C'est pourquoi une maquette architecturale (ou structure) devra être conçue afin de contenir de nombreux éléments qui permettront la bonne réalisation et la durée dans le temps de l'aménagement. Ainsi, cette maquette sera composée de plusieurs types de murs (soutènement et séparatif), d'escaliers qui assureront les liaisons entre les différents niveaux, de bâtiments publics de petite taille tels que des sanitaires, transformateurs ... Cette maquette ne contiendra en revanche pas les bâtiments importants qui doivent avoir une maquette qui leur est propre.

Cette maquette architecturale va être réalisée à l'aide d'un logiciel de modélisation de bâtiment, Revit. Cette modélisation va s'appuyer sur un plan extrait du plan d'aménagement de surface qui va contenir tous les périmètres de murs, d'escaliers, de bâtiments et tous les éléments à créer. L'avantage de travailler à partir d'un extrait de plan permet de modéliser directement dans les coordonnées planimétriques du projet, ce qui évite tous problèmes liés au géoréférencement par la suite. Et concernant l'altimétrie il suffit de spécifier les altitudes du projet aux altitudes des niveaux Revit. Ainsi, il est simple d'obtenir les murs et les escaliers, tout en spécifiant les différents paramètres de ces derniers (épaisseurs, matériaux, hauteurs), qui permettent une représentation correcte et qui seront exportés en tant qu'attribut de ces éléments.

Par la suite, il va être possible de procéder à l'habillage de la maquette, qui consiste à insérer les équipements mobiliers du projet (abri bus, banc ...) et à les faire correspondre à la réalité du terrain. Afin de réaliser ces tâches, il est indispensable d'associer la surface topographique du projet. Cette donnée sera le support des objets qui vont être intégrés et permettra un ajustement des profils de murs en fonction de ce terrain. Le logiciel Revit possède un outil de création de surface topographique (ou appelé « site » par Revit), elle peut être créée par l'importation d'un fichier de points, il suffit alors de récupérer les coordonnées des points qui définissent la surface terrain (voirie et plateformes). Ces dernières sont récupérables à travers les différents listings partagés, grâce à la plateforme collaborative, par l'intervenant ayant à sa charge les missions de voirie et plateforme. Ensuite, les objets à insérer peuvent exister dans les bibliothèques du logiciel, ou trouvés à partir de site internet (comme vu en partie II.2.3.1), ou devront être créés par le modelleur BIM.

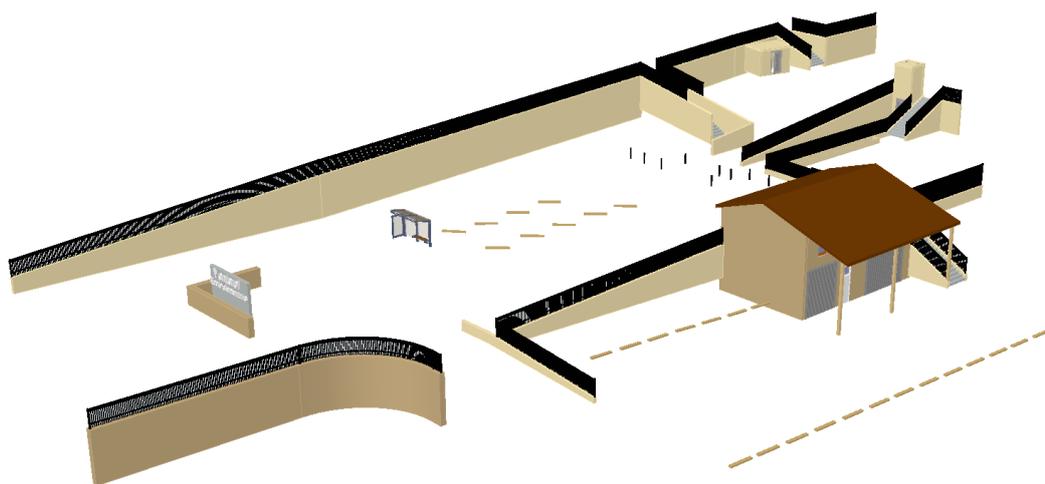


Figure 8 : Maquette architecturale au format IFC

La majorité des éléments qui compose cette maquette ne sont pas spécifiques à un projet « Infra », donc ils possèdent une classe IFC qui leur est propre. Seuls les équipements mobiliers ne possèdent pas encore de classe IFC spécifique, ils sont exportés dans IFC BuildingElementProxy. Mais, ils peuvent se trouver dans la classe IFC Site qui contient la surface topographique et ses équipements.

II.2.2.4 Paysager

Le dernier point de la maquette urbaine va concerner les espaces verts et principalement les plantations. C'est un élément qui ne présente pas d'aspect impératif pour le bon fonctionnement et la durée de vie de l'aménagement. Cependant, il est nécessaire de le prendre en compte par l'intérêt visuel qu'apporte la végétation et qui va assurer une meilleure intégration du projet dans son environnement.

Le bureau d'études BEAUR réalise actuellement ses projets d'aménagements paysagers uniquement en deux dimensions à l'aide d'Autocad. Il n'existe pas de logiciel dédié spécialement à la modélisation de végétation et permettant un export IFC en vue d'un travail BIM. Cependant, les logiciels incontournables de modélisation (Revit, Autocad-Covadis) peuvent gérer ces éléments. Ces deux outils possèdent des bibliothèques contenant de la végétation en trois dimensions.

L'aspect visuel est de bonne qualité depuis Revit. En revanche, il y en a un nombre très restreint, et surtout ils possèdent peu d'attributs qui les définissent et l'ajout d'informations par le biais des nomenclatures ne permet pas de corriger ce manque. En

effet, lors de l'export IFC la perte d'informations n'est pas négligeable puisque tous les attributs ajoutés aux nomenclatures ne s'exportent pas. Les bibliothèques de Covadis proposent une multitude de plantations en trois dimensions, leurs représentations sont plus simplistes que celles proposées par Revit et ne sont caractérisées par aucun attribut. Grâce aux jeux de propriétés BIM, ce manque de renseignement n'est pas un problème, il va être possible d'ajouter de nombreuses informations pour décrire ces plantations. Donc en vue d'un travail BIM, ce n'est pas uniquement un modèle 3D qui est attendu mais une maquette numérique, c'est pourquoi la maquette végétation sera produite à l'aide d'Autocad et Covadis.

Dans la recherche d'une maquette numérique ayant un rendu visuel de la meilleure qualité possible, il existe des logiciels dédiés à la modélisation de végétation. Pour intégrer ce type de logiciel dans un workflow BIM, il est impératif qu'il propose un export dans un format 3D. De cette façon, il pourra être transformé en format dwg, par le biais de FME¹⁰, afin de profiter de tous les avantages offerts par Covadis. Le programme TreeIt, qui est gratuit, conçu par Evolved Software permet de générer des modèles en trois dimensions grâce à de nombreux paramètres qui caractérisent le tronc, le branchage et le feuillage en peu de temps. Il permet également d'exporter ce modèle dans des formats tel que le fbx ou obj, c'est le second qui sera traité à l'aide d'un programme conversion simple afin d'obtenir ce fichier au format dwg.

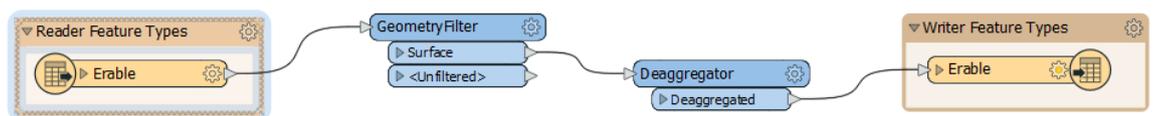


Figure 9 : Programme de conversion du format obj au dwg

A la suite de cette transformation, la géométrie est simplifiée en face 3D mais offre toujours une qualité supérieure aux blocs d'origine de Covadis. Pour finir, il suffit d'assembler toutes ces faces 3D dans un bloc qui pourra être ajouté à la bibliothèque 3D de Covadis afin d'être directement disponible depuis Autocad.

¹⁰ Logiciel développé par Safe Software qui permet entre autres de transformer le format d'une multitude de données

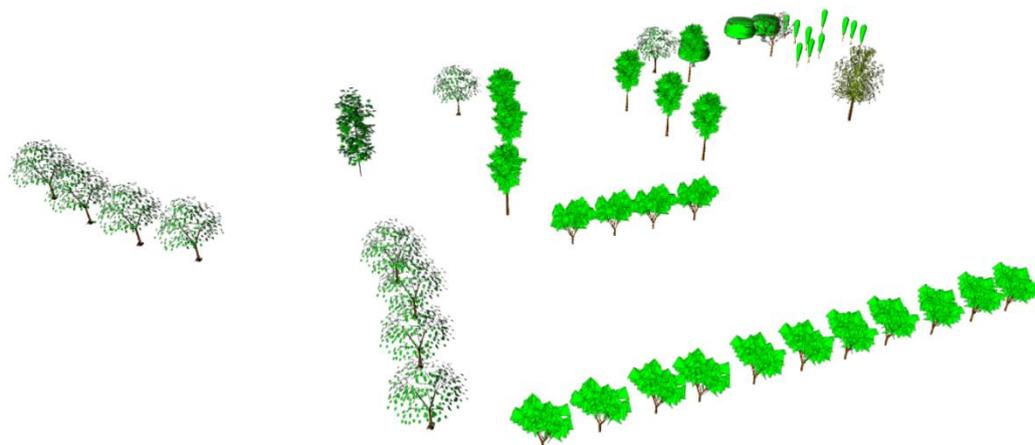


Figure 10 : Maquette végétation au format IFC

Tous ces éléments sont exportés dans la classe IFC `BuildingElementProxy`, la végétation n'est pas encore incluse dans la classification IFC. Comme les équipements mobiliers, la végétation pourrait être comprise dans la classe IFC `Site`.

En vue d'un travail sur Infracore, cette maquette peut également être exportée au format IMX. Mais la qualité visuelle sera très médiocre par rapport à ce que peut proposer le logiciel. Il possède une bibliothèque fournie en ce qui concerne la végétation, à partir du modèle numérique de terrain (disponible sur la plateforme collaborative) qui sera intégré dans Infracore, il va être possible d'intégrer différentes essences d'arbres.



Figure 11 : Maquette végétation réalisée avec Infracore

II.2.3 Assemblage de toutes les maquettes métiers pour la création d'une maquette numérique Infra

En général, la conception de ces aménagements « Infra » va être confiée à une équipe comprenant le concepteur paysagiste et le bureau d'études (ou à une structure qui regroupent l'ensemble de ces compétences, ce qui est le cas de la société BEAUR). Cependant, ce type de projet va mobiliser de nombreuses personnes au sein d'un même bureau et la collaboration entre ces acteurs va être gérée par le BIM coordinateur. Ce dernier va devoir assembler et vérifier la cohérence de toutes les maquettes produites par son bureau afin de fournir la maquette numérique « Infra » de conception, qui sera partagée avec les collaborateurs du projet autre que ceux de son bureau afin d'obtenir une maquette numérique de l'aménagement complet (s'il s'agit par exemple d'un projet qui ne se limite pas aux infrastructures).

II.2.3.1 Mise en place des outils de collaboration

Comme définie en introduction de ce rapport, la notion de collaboration fait partie intégrante du processus de travail de BIM. Depuis quelques années, le développement des plateformes collaboratives a devancé celui des logiciels de modélisation. En effet, il en existe des dizaines avec des particularités qui les différencient les unes des autres.

A ce jour, les outils de collaboration les plus utilisés par les professionnels sont les drives (Dropbox et Google Drive) et les liens de téléchargements de données WeTransfer¹¹. Ces outils peuvent être performants, mais cela montre le manque de connaissances sur les possibilités qu'offrent une plateforme collaborative, les plus utilisées sont KROQI, BIM 360 et Trimble Connect. Les deux premières seront présentées au cours de ce rapport.

Dans un premier temps, le BIM manager devra créer un projet et inviter tous les collaborateurs afin qu'ils soient tous en relation. La plateforme KROQI propose plusieurs onglets avec des fonctionnalités différentes (communication, gestion des documents, création de tâche, agenda, mise en place de réunion, notifications). Le responsable du

¹¹ Informations obtenues lors d'une présentation du BIM effectué par Emmanuel DI GIACOMO (représentant Autodesk) pendant le REX BIM Tour du 13 mai 2019 à Lyon

projet devra porter une attention particulière à la gestion des accès de ces différents onglets et des différents dossiers, en fonction du rôle de chaque intervenant. L'onglet notification permet de voir toutes les actions effectuées sur la plateforme (dépôt de fichiers, téléchargement, modification, création de tâche ou réunion ...). KROQI possède un système de communication entre intervenants très développé, avec un chat général au projet ou des informations importantes peuvent être partagées. Mais également la possibilité d'envoyer un message à un ou plusieurs acteurs, ou de réaliser des vidéoconférences par le biais de la plateforme. En complément, le CSTB a développé un viewer IFC (qu'il faut télécharger et connecter à KROQI) qui permet d'ouvrir un fichier IFC depuis la plateforme. Il est possible de visualiser directement sur la plateforme, sans passer par un téléchargement les documents PDF et raster.

La plateforme BIM360 possède globalement le même principe que KROQI pour la création d'un projet et l'ajout de membres, avec des restrictions d'accès à spécifier. Elle possède également plusieurs onglets, principalement pour la gestion des documents et le recensement des différents problèmes. Il est possible de visualiser directement sur la plateforme, sans téléchargement, les fichiers IFC ainsi que tous les formats propriétaires d'Autodesk (dwg et rvt notamment), également les formats PDF et raster. Chaque projet possède une capacité de stockage illimité.

A présent, la plateforme va être un acteur à part entière en vue de la bonne réalisation de l'aménagement et ceux dès le lancement du projet. Tous les documents relatifs au projet (techniques et administratifs) seront partagés afin de rendre compte de l'avancement du projet. Cela va aussi permettre un gain de temps important, en effet plus besoin d'envoyer un mail pour demander tel ou tel fichier. De plus, les différentes versions des travaux effectués sont enregistrées sur la plateforme, ce qui permet aux autres intervenants d'être assurés de travailler sur la dernière version.

II.2.3.2 Création d'un environnement réaliste et insertion des maquettes métiers

Le logiciel Infracore permet l'intégration de données d'origines diverses dans un milieu réaliste, ce qui va permettre une meilleure visualisation du futur aménagement. Infracore est capable de créer un modèle 3D jusqu'à 200km² de n'importe quelle zone dans le monde, ce modèle est renseigné à partir de données dite « Open Data ». Les infrastructures linéaires et les bâtiments sont récupérés via OpenStreetMap, les données terrains sont obtenues grâce au MNT SRTMGL1 entre -60° et + 60° de latitude et au MNT

GDEM ASTER deuxième génération entre +60° et +83° de latitude, tous deux d'une résolution de 30 mètres. En revanche, pour les Etats-Unis ces données proviennent du MNT USGS d'une résolution de 10 mètres. Puis, des images satellites provenant de Microsoft Bing Maps sont projetées sur ces modèles de terrain. Toutes ces informations sont renseignées dans le système WGS 84 en coordonnées géographiques. Il est possible d'améliorer la qualité de l'environnement créé en remplaçant les données d'origine, MNT et photos aériennes, par d'autres de meilleure résolution. C'est ce qui a été effectué sur le projet qu'illustre ce TFE, l'ajout de la BD-Ortho_50cm et du RGEALTI_5m ont considérablement changé le rendu. Ce changement est possible car Infracore permet la gestion de milliers de projections dans de nombreux systèmes de coordonnées. Ces nouvelles ressources étaient en Lambert93, projection qu'il faut spécifier pour les charger. Par la suite, il est possible de choisir la projection que l'on souhaite, Infracore s'occupe de faire la transformation.



Figure 12 : Modèle créé par Infracore

Ce logiciel paraît incontournable lorsqu'un projet « Infra » est traité, la visualisation de l'aménagement dans son environnement est essentielle et il garantit un rendu visuel de bonne qualité. Malgré le fait qu'il ne permette pas d'exporter la maquette au format IFC, il est possible de le faire au format fbx qui est un format 3D lisible par de nombreux logiciels.

Il paraît évident, pour une incorporation correcte des éléments produits, que tous les acteurs aient géoréférencé leur travail dans le même système de coordonnées et dans la même projection. Le travail du BIM coordinateur / BIM manager va prendre toute son importance à partir de ces étapes d'agrégation de données. Dans un premier temps, il va devoir assembler puis vérifier la cohérence géographique des différentes maquettes, qu'il

aura récupéré par le biais de la plateforme collaborative. A partir d'Infraworks, il faudra insérer les différents fichiers IMX produits par Covadis et la maquette Revit.



Figure 13 : Insertion de la maquette dans son environnement

L'agrégation de format IFC peut s'effectuer avec un viewer IFC, Tekla BimSight semble être le plus approprié pour ce type de travail.



Figure 14 : Maquette assemblée au format IFC

II.2.3.3 Vérification de la cohérence des différentes maquettes

Afin de pouvoir exploiter la maquette, il est impératif que toutes les données et représentations des maquettes soient correctes et surtout qu'elles le soient également entre-elles. C'est-à-dire que les maquettes soient correctement renseignées, qu'elles correspondent visuellement à ceux qui est attendu et qu'il n'y ait pas de clash entre différents éléments.

Premièrement, grâce à la visualisation des maquettes IFC directement sur les plateformes ou grâce à un viewer, le contrôle visuel va être effectué. La plateforme BIM 360 est alors un outil optimisé pour effectuer ce type de contrôle. En effet, il va être possible de spécifier un éventuel problème en renseignant l'élément, la raison de l'erreur, le responsable et une date pour laquelle il doit être corrigé ; cela directement sur la plateforme, il apparaîtra alors dans l'onglet 'Problèmes'. De cette manière, l'intervenant coupable de cette erreur va être directement informé des modifications qu'il doit effectuer. Puis, ce dernier devra partager les fichiers corrigés, au format natif et IFC, ces nouveaux fichiers apparaîtront alors comme des versions 2. KROQI et BIM 360 permettent de garder en mémoire toutes les versions d'un même fichier. La seconde est également performante afin de visualiser les différences en deux versions, notamment pour vérifier la bonne correction du problème spécifié auparavant, puisqu'il est possible de comparer deux versions côte à côte et d'en voir directement les différences. De cette manière, le BIM manager va pouvoir mettre un terme au problème créé précédemment s'il est corrigé.

En parallèle, le BIM manager va également effectuer des détections de clash pour s'assurer du bon fonctionnement de l'aménagement et éviter tous problèmes qui pourraient survenir lors de la construction de l'ouvrage. Il va les effectuer entre des éléments ou un doute est présent après le contrôle visuel, et directement entre des éléments de longueur importante qui peuvent se superposer avec quelques centimètres d'écart, comme les réseaux. Ce type de tâche peut se réaliser avec des logiciels comme Navisworks ou Tekla BimSight, avec un fonctionnement équivalent, il suffit de spécifier les éléments à tester et un écart de tolérance. Un avantage important de Navisworks est l'interopérabilité avec les autres logiciels Autodesk, la lecture de format fbx d'Infraworks est plus fluide que la lecture IFC, ainsi qu'une connexion directe avec la plateforme BIM 360 afin d'assigner un potentiel problème à un collaborateur. Il serait également possible de renseigner le problème sur KROQI par le biais d'une tâche à effectuer. La détection de clash étant équivalente avec Tekla BimSight, elle reste donc accessible aux intervenants qui ne possèdent pas la suite Autodesk. En effet, il est possible de partager le projet Tekla BimSight qui contient les fichiers IFC et toutes les annotations potentielles qui y seraient spécifiées

II.3 Conclusion

La conception et la modélisation d'une maquette numérique « Infra » impliquent une forte collaboration entre tous les intervenants de l'équipe de maîtrise d'œuvre puisque

les éléments vont être dépendants les uns des autres. Effectivement, le travail de voirie et de plateformes va être le produit central de la maquette puisqu'il sera le support de tous les autres. Mais ce dernier doit être également réalisé en imaginant les futurs réseaux afin de permettre au maximum un écoulement gravitaire pour les réseaux d'assainissement. L'utilisation d'une plateforme collaborative qui est un outil avec de multiples fonctions, est donc indispensable. Le choix de cette plateforme sera spécifié dans les documents règlementaires en amont du projet, elles sont nombreuses et toutes avec des avantages. Cependant lorsqu'un bureau débute en BIM et qu'il réalise encore peu de projets, la plateforme KROQI, gratuite et compétitive, évite des frais supplémentaires. Lors de petits projets « Infra », il est rare de trouver un maître d'ouvrage avec une multitude d'outils propriétaires.

Cette représentation va impliquer plusieurs logiciels et donc un échange de données. Il est alors préférable de travailler avec des logiciels du même fournisseur et d'utiliser les formats propriétaires dans la mesure du possible pour assurer une bonne interopérabilité. Le format IFC n'étant utile qu'en fin de projet pour partager la maquette. Les échanges entre Covadis et Infracore illustrent ses problèmes puisqu'il y a une perte de données importantes.

III Utilisation de la maquette numérique

La maquette numérique est dorénavant créée et partagée avec tous les intervenants du projet grâce à la plateforme collaborative. Ces acteurs vont utiliser cette dernière comme un support qui va les aider dans la réalisation de nombreuses tâches.

III.1 Une aide à la compréhension

Pour le moment, la majorité des projets « infra » ne se traite pas en BIM et n'utilise pas non plus de modèle 3D. La présentation de ces projets se fait uniquement par le biais de plans 2D, papiers ou numériques, alors qu'ils présentent régulièrement des aspects techniques qui sont difficilement compréhensibles à l'aide de plans et particulièrement pour les non-professionnels.

III.1.1 Une première vision de l'aménagement

Lorsque le BIM est mentionné, notamment par les novices, le premier principe cité est le travail à partir d'une représentation en trois dimensions, au point d'être parfois limité

à cette seule maquette. Ce qui est bien évidemment faux, mais cela montre l'importance de cette modélisation, qui reste malgré tout l'intérêt premier des méthodes de travail BIM. La maquette numérique va offrir un outil supplémentaire de contrôle lors de la conception de l'aménagement. Ce contrôle sera dans un premier temps simplement visuel, ce qui représente déjà un aspect déterminant. Surtout dans les phases amont du projet, esquisse et avant-projet, où l'un des enjeux principaux est de réussir à mettre en valeur son projet. Ainsi, lors de la visualisation des premières maquettes, il est fort probable que le BIM coordinateur, ou même directement le BIM modelleur, puissent signaler des incohérences sur le projet qui n'auraient pas été visibles avec des plans papiers.

Ces propos peuvent être complétés par le projet qui illustre et présente les méthodes de travail BIM au sein de mon bureau d'études. C'est un dossier qui est aujourd'hui en phase d'avant-projet et traité uniquement en deux dimensions. En effet, c'est un chantier qui va présenter des différences de niveau et des pentes importantes, où les avantages d'une modélisation en trois dimensions sont encore plus notables. Ainsi, les premières représentations de cet aménagement se sont basées sur ces plans d'avant-projet et plusieurs incohérences ont été décelées. Elles étaient essentiellement dues à des cotes et pentes qui ne correspondaient pas et ne permettaient pas une réalisation en trois dimensions cohérentes. De plus, un élément a été flagrant, un mur impliquant une différence de niveau d'environ quatre mètres devait être édifié pour respecter les cotes altimétriques du plan.

De ce fait, la plupart de ces erreurs ont été spécifiées à la personne en charge de ce projet, des changements seront effectués grâce à la maquette numérique de conception produite.

III.1.2 Un socle pour la prise de décision et la confirmation des attentes du maître d'ouvrage

Les aménagements d'aujourd'hui doivent être durables dans le temps et respecter l'environnement dans lequel ils vont s'intégrer. Ces critères sont déterminants dans le choix du projet qui va être retenu. C'est pourquoi l'incorporation des ouvrages dans leur environnement est nécessaire, au point de voir sa proposition examinée trop rapidement si ce n'est pas le cas. Le travail réalisé avec Infracore devra ainsi être mis en valeur, pour cela il existe plusieurs moyens de le partager. Dans un premier temps, le logiciel permet la création d'images et de vidéos pour dévoiler un projet. Puis, le modèle Infracore peut être partagé de plusieurs façons afin qu'il soit examiné de manière plus précise. Par le biais

direct du logiciel, si les interlocuteurs possèdent une licence de ce dernier à l'aide du format d'échange fbx. Mais aussi avec BIM 360 qui permet une connexion directe avec le modèle Infracore et qui peut être visible depuis cette plateforme, cependant il faut également une licence. Ces deux solutions sont assez spécifiques car elles nécessitent des licences payantes. En revanche, il existe un viewer gratuit développé par Autodesk, FBX Review, qui permet de visualiser n'importe quel format fbx et donc le modèle Infracore.

Tous ces outils vont assurer la bonne intégration du projet dans le paysage, mais pas seulement, puisque les différentes esquisses de l'aménagement lui-même devront être départagées. Ces différentes esquisses seront plus compréhensibles et illustreront mieux la prise en charge des contraintes que par le biais de plans en deux dimensions.



Figure 15 : Esquisse 1 vue avec Infracore



Figure 16 : Esquisse 2 vue avec Infracore

Toutes ces méthodes de communication vont être utilisées au cours de la conception du projet, notamment avec le maître d'ouvrage, afin qu'il confirme que le projet soit en accord avec ce qu'il attend.

La maquette numérique pourrait également être utilisée comme support de décision pour l'obtention des autorisations d'urbanisme. En effet, que ce soit un permis de construire ou un permis d'aménager, ils doivent être composés de plusieurs pièces explicatives permettant de décrire les ouvrages du futur projet. Ces pièces impératives sont équivalentes suivant les deux demandes, un plan de composition ou plan de masse (PA4 et PC2), des coupes faisant apparaître la situation du projet dans celle du terrain naturel (PA5 et PC3) et un document graphique qui décrit les futures constructions (PA9 et PC6). Pour le moment, une maquette avec un niveau de détail de type esquisse permet de produire ces documents. D'ici quelques années, il n'est pas utopique d'imaginer que ces pièces puissent être remplacées par une maquette numérique. Une nouvelle méthode pourrait même être mise en place pour les projets qui seront traités en BIM ; une maquette numérique serait

transmise au service instructeur d'urbanisme qui comporterait les pièces administratives. De plus, cette méthode présente un aspect écologique non négligeable puisque aucun document papier n'aurait besoin d'être édité.

III.2 Un outil supplémentaire pour la production

La maquette numérique a vocation à être exploitée par des acteurs différents, et ne sera pas utilisée de la même façon, l'aspect information sera plus utile pour certains, tandis que l'aspect visuel le sera davantage pour d'autres. Cette modélisation peut-être le support de nombreuses tâches et doit représenter un outil et un gain de temps pour un nombre important d'acteurs. C'est aussi l'un des intérêts de travailler en BIM.

III.2.1 Création d'une base de données grâce à la maquette numérique

La maquette numérique est par définition riche en informations, cependant aucune opération liée à ces attributs n'est possible directement à partir du fichier IFC. En revanche, toutes ces informations pourraient être exportées vers une base de données qui permettrait un requêtage sur les différents éléments de la maquette mais également la production de programme conduisant à un gain de temps.

Par exemple, lors de n'importe quel chantier de nombreux chiffrages devront être produits et ces derniers varient régulièrement au cours des différentes phases du projet. Actuellement, le chiffrage des données « Infra » s'effectue à partir des différents métrés fournis par Covadis. Il faut en réaliser plusieurs correspondants à chaque type de travaux (volume des matériaux, linéaire des bordures et canalisations ...), auquel il faut rajouter tous les éléments ponctuels (végétation, regards...). En d'autres termes, obtenir ces informations est chronophage. Lors d'un travail en BIM, les éléments de la maquette possèdent tous des attributs qui caractérisent leur géométrie et leur structure. Ainsi, s'il existe une base de données qui regroupe tous ces attributs, il serait possible d'automatiser l'obtention des différents métrés et permettre un gain de temps conséquent.

III.2.1.1 Exportation de la maquette numérique sous forme de base de données

Le logiciel de traitement FME permet la lecture de fichier IFC et l'écriture de base de données PostgreSQL. Pour autant, cela ne garantit pas l'export de tous les attributs présents dans le fichier IFC. En effet, depuis FME l'affichage des attributs n'est pas similaire à celui des viewers IFC. Lors de l'import du fichier IFC sous FME, des classes

qui n'étaient pas identifiées par les viewers sont présentes et notamment la classe IFCPropertySetDefinition, c'est cette dernière qui contient la majorité des attributs des éléments. Puis lorsqu'elle est visualisée, elle contient les noms de tous les jeux de propriétés associés aux éléments de la maquette. Les attributs associés par défaut sont eux disponibles directement dans la classe propre à l'élément. Donc toutes les informations de la maquette sont accessibles, seulement ceux contenus dans les jeux de propriétés de BIM seront exportés vers la base de données puisqu'ils contiennent les caractéristiques principales des éléments.

Afin d'extraire ces attributs il faut utiliser la fonction « GeometryPropertyExtractor » en spécifiant en entrée la classe contenant la géométrie. Il ne faut pas lui joindre la classe PropertySetDefinition puisque les attributs qu'elle contient sont présents dans la première classe, ils sont juste non activés et non visualisables, d'où l'utilité de la fonction FME. Pour les obtenir il suffit de spécifier leur nom au sein de la fonction. Et enfin, les données peuvent être exportées vers la base de données.

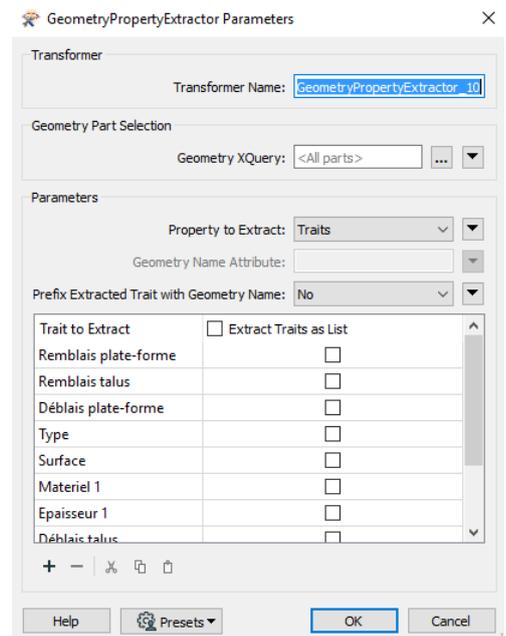


Figure 17 : Fonction GeometryPropertyExtractor

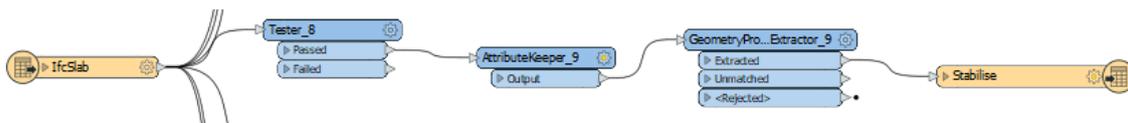


Figure 18 : Programme d'exportation des données IFC vers une BDD

III.2.1.2 Exploitation de la base de données

Afin de créer un programme qui puisse être utilisé à de nombreuses reprises, il sera nécessaire d'agréger toujours les mêmes jeux de propriétés BIM aux maquettes numériques. Un travail de normalisation sera important lors des premiers projets BIM pour définir les attributs essentiels de chaque élément. Par la suite la quasi-totalité des métrés de n'importe quelle maquette seront accessibles en un clic. Bien sûr, il sera toujours possible de créer de nouveaux jeux de propriétés mais ils impliqueront des changements dans le programme.

Tous les éléments différents (voirie, espace vert, bordures, canalisation ...) ont chacun été exportés dans une table. Dans un premier temps, il va falloir calculer la somme des volumes ou surfaces de chaque matériel, le linéaire ou le nombre de modèles distincts présents dans chaque table, puisqu'il y a plusieurs objets par table. Ces données seront insérées dans une nouvelle table (somme_vol) en leur associant le type de matériel ou le modèle. Cette table va contenir des volumes du même matériel car les différentes couches des plateformes utilisent des matériaux communs. Ainsi, il faudra créer une nouvelle table (vol_tot) qui va regrouper le volume total de chaque matériel.

Afin d'associer un prix à ces mètres, un fichier Excel regroupant la nature du matériel et son cout unitaire devra être créé et exporté vers la base de données (table cout_materiel). Par la suite, une jointure entre la table 'cout_materiel' et 'volume_tot' permettra d'assembler les données de ces tables et donc d'obtenir le prix total des matériaux du chantier. Pour finir, un export au format csv de ces informations est possible afin d'obtenir un fichier récapitulatif des mètres.

III.2.2 Mise en place d'un système de planification

III.2.2.1 Création des différentes phases

Grâce à cette maquette, qui représente le futur aménagement, il va être possible de prévoir sa construction. C'est-à-dire qu'une date de début et de fin de construction peut être associée à chaque élément de la maquette. Ces objets se voient alors attribuer une nouvelle dimension, la 4D, qui correspond au temps. Ainsi, la planification de tout le projet peut être visualisée phase après phase en trois dimensions. Cependant, ces attributs ne peuvent pas être exploités directement, il est nécessaire d'utiliser un logiciel spécifique, Navisworks.

Navisworks permet de lire une multitude de formats différents dont l'IFC et le fbx. Il est préférable d'utiliser ce dernier format car il permet une meilleure interopérabilité entre Infracore et Navisworks. L'import est plus rapide et ne nécessite pas d'être réalisé en plusieurs fois, ce qui pourrait être le cas avec les différentes maquettes IFC du projet. Pour réaliser cette planification, il faut utiliser l'outil TimeLiner et créer différentes tâches qui correspondent aux phases du projet en renseignant les dates de début et fin de construction, le type de tâche (construire, démolir, temporaire) ainsi que les éléments associés à la phase.

De plus, il est également possible de renseigner un cout à chaque phase, une nouvelle dimension est alors rajoutée à la maquette, la 5D.

Afin de gagner du temps dans la création des tâches, un fichier Excel pourra être créé en reprenant les éléments essentiels de la planification (nom de tâche, planification, type de tâche, cout). Le cout du matériel pourra être récupéré du fichier exporté par l'exploitation de la base de données. Ensuite, il suffit d'intégrer ce fichier au format csv dans Navisworks et la hiérarchie des tâches suivra celle du fichier importé. Il ne restera qu'à spécifier la géométrie des éléments de chaque phase.¹²

III.2.2.2 Bénéfice de cette planification

Cette programmation va permettre aux équipes de maîtrise d'œuvre de mettre en confiance le maître d'ouvrage sur le respect des délais de réalisation de l'ouvrage. Elle permet de préciser le temps d'intervention des différentes entreprises pour assurer la bonne exécution des travaux. De plus, cet outil de gestion doit être utilisé en temps réel pendant les étapes d'intervention des entreprises. En effet, il est possible qu'une tâche se termine avec du retard et implique d'autres entreprises. A l'aide de cette planification virtuelle, tous les travaux à réaliser sont renseignés et des changements de planning pourront rapidement être anticipés pour les entreprises impactées par ce retard. Navisworks permet de renseigner une date de début et fin planifié des travaux et une date de début et fin réel de ces tâches.

L'agrégation des données 5D va permettre au maître d'ouvrage d'avoir une estimation précise sur les échéances des travaux qu'il devra financer au cours de l'avancement de l'aménagement.

Actif	Nom	Etat	Début planifié	Fin planifiée	Début réel	Fin réelle	Type de tâche	Attaché(e)	Coût total
<input checked="" type="checkbox"/>	Nouvelle source de donn...		01/09/2019	25/10/2019	N/D	N/D			330 000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrassement		01/09/2019	06/09/2019	N/D	N/D	Construire	Sélection ...	50 000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Pose des canalisations		06/09/2019	10/09/2019	N/D	N/D	Construire	Sélection ...	35 000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Réalisation du gros oeuvre		12/09/2019	21/09/2019	N/D	N/D	Construire	Sélection ...	25 000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Pose des bordures et caniv...		18/09/2019	25/09/2019	N/D	N/D	Construire	Sélection ...	75 000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Création des voies de circul...		23/09/2019	05/10/2019	N/D	N/D	Construire	Sélection ...	30 000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Création des voies piétonnes		03/10/2019	19/10/2019	N/D	N/D	Construire	Sélection ...	55 000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Amenagement des espaces ...		14/10/2019	25/10/2019	N/D	N/D	Construire	Sélection ...	60 000,00

Figure 19 : Planification des travaux

¹² Voir en annexe 2 les différentes phases du projet

La maquette numérique sera transmise aux entreprises, par le biais d'un dossier spécifique aux entreprises sur la plateforme collaborative, cette planification pourrait également être transmise. Elle permettrait aux entreprises sélectionnées de planifier au mieux leurs interventions. Les plans d'installations de chantiers seraient mis en place en fonction de l'avancement des travaux et des ouvrages édifiés.

III.2.3 Support d'infographie

La communication graphique autour du projet va exister dès le début des études, que ce soit avec la population ou pour la demande des autorisations d'urbanisme. Ces documents devront être réalistes, bien plus que la maquette Infracore, c'est pourquoi ils seront réalisés par des professionnels, les infographistes. Bien que la maquette ne soit pas d'une qualité suffisante pour être directement utilisée comme support de communication, elle va cependant être un excellent outil pour l'infographiste. Le format fbx, obtenu grâce à Infracore, est un format 3D très répandu et ainsi la plupart des logiciels d'infographie (3D Studio Max, Maya, Twinmotion ...) permettent sa lecture. L'infographiste est amené à intervenir à plusieurs reprises sur un même projet. Il pourra donc faire partie du groupe d'intervenants et posséder un accès à la plateforme collaborative. Son accès se limiterait aux dossiers de présentation du projet et au dossier de partage de certaines données, où il pourra récupérer la maquette au format IFC et fbx.

La maquette est un tel support qu'elle simplifie la production d'image/vidéo de qualité. Elle permettrait alors à certains acteurs de réaliser des documents graphiques, qui ne nécessitent pas le travail d'un professionnel. Ainsi, il pourra partager des photos de l'aménagement ayant un meilleur rendu que la simple capture d'image de la maquette. Par exemple, Twinmotion est un logiciel spécialisé dans l'architecture et les aménagements urbains, sa prise en main est assez rapide, il pourrait donc être utilisé par n'importe quel intervenant.



Figure 20 : Infographie du futur aménagement

Ce logiciel permet une gestion des sources de lumière à partir de plusieurs paramètres. Ainsi il est possible d'obtenir une visualisation du projet de nuit en spécifiant les paramètres constructeurs des luminaires. Ceci pourrait permettre un contrôle sur la luminosité de l'aménagement.



Figure 21 : Simulation des futurs éclairages de l'aménagement

III.3 Un support pour la gestion de chantier et pour la vie de l'ouvrage

Un intérêt supplémentaire de travailler en BIM est de posséder un outil qui ne sera pas seulement utilisé pendant les étapes de conception de l'aménagement. La maquette numérique va représenter un réel avantage au cours la construction de l'ouvrage. Puis, elle tend à être sollicitée pendant tout le cycle de vie de l'aménagement en étant l'outil principal de sa gestion. Des intervenants supplémentaires vont posséder un accès légitime à la plateforme collaborative, il sera important de porter une attention particulière à la gestion de ces accès.

III.3.1 La maquette numérique pour les entreprises

La plateforme collaborative va disposer d'un dossier consacré aux entreprises dans lequel se trouvera uniquement les données qui les concernent. Ils vont pouvoir télécharger la maquette au format IFC et éventuellement au format natif, les différents documents réglementaires (CCAP, CCTP, acte d'engagement ...). Puis, une convention BIM 'Réalisation' destinée aux entreprises qui va préciser le travail BIM qu'elles devront effectuer.

III.3.1.1 Meilleure compréhension des travaux à effectuer

Avec la montée en compétence des entreprises en ce qui concerne le BIM, la maquette numérique au format IFC va être transmise en complément du DCE. Ainsi l'entreprise serait impliquée le plus tôt possible dans une démarche BIM. A partir d'un simple viewer IFC, les équipes de construction des entreprises vont pouvoir visualiser le futur aménagement et comprendre en très peu de temps les missions qu'elles devront réaliser. Cette représentation va de plus permettre d'anticiper d'éventuels problèmes qui n'auraient pas été observables à partir de plans en deux dimensions.

III.3.1.2 La maquette numérique de réalisation

Dans les offres que vont transmettre les entreprises, il est possible que des modifications sur les matériaux ou sur les objets qui vont être mis en place soient faites. Si ces modifications sont approuvées, la maîtrise d'œuvre devra les prendre en compte et donc modifier la maquette numérique de conception.

Par la suite, des études d'exécutions et de synthèses vont être à la charge de la maîtrise d'œuvre et/ou des entreprises, la convention BIM précisera cet aspect. Ces études entraînent la production des plans d'exécutions et des maquettes numériques métiers des entreprises. La collaboration entre les équipes de maîtrise d'œuvre et les entreprises conditionnera une maquette réalisation de grande qualité puisque le résultat de ces études va entraîner des mises à jour de la maquette numérique de conception.

III.3.1.3 Un gain de temps dans la réalisation de plusieurs tâches

Chaque entreprise aura réalisé sa maquette métier, à partir de la maquette numérique de conception, et de logiciels spécifiques afin de traiter les éléments de leur mission. A partir de celle-ci, des études quantitatives, sur les matériaux nécessaires à la construction, seront réalisées plus rapidement qu'à partir de plan et avec une incertitude plus faible. De ce fait l'entreprise pourrait transmettre ses études d'exécution dans des délais plus courts et permettre un gain de temps mutuel.

La modélisation va pouvoir être utilisée pour la production de plans, notamment les plans d'installations de chantiers qui prennent plus de sens s'ils sont réalisés en trois dimensions. A partir de la planification 4D, la maquette pourra être récupérée à un instant précis de la construction afin d'être le support des différents éléments qui composent le chantier (dépôt de matériaux, installation de grue, passage de véhicule ...). Plusieurs plans de ce type sont conçus et vont se succéder pour une organisation optimale de la réalisation des travaux. De ce fait, il y aura moins d'évènements inattendus qui se produisent, ce qui assure le déroulement dans les temps du chantier.

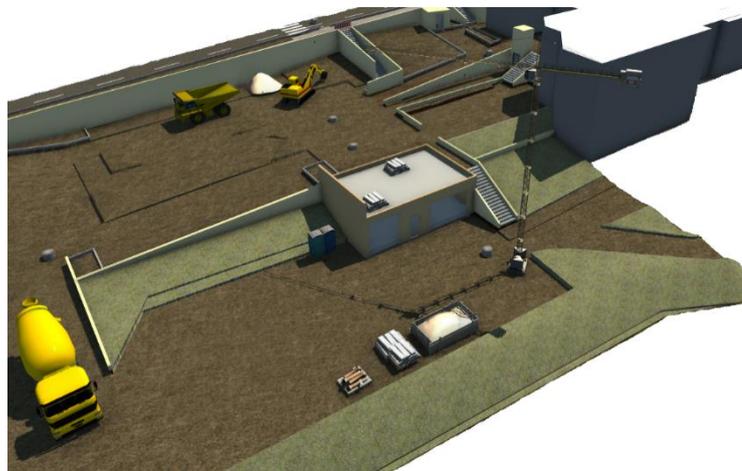


Figure 22 : Insertion d'éléments 3D qui permettrait la confection de plan d'installation de chantier

Lors de ces étapes d'exécution, les plans 2D semblent actuellement irremplaçables, de par leur utilisation instantanée sur le chantier et par l'habitude que possèdent les équipes avec ces plans. En revanche, ceci n'exclut pas l'utilisation de la maquette numérique ; bien au contraire, l'usage des deux est complémentaire.

La production de plan d'exécution directement exploitable à partir de la maquette numérique est impossible. Cependant, une vue en plan judicieusement extraite (choix des éléments masqués ou transparents) pourra servir de support pour la confection de ces documents. Puis, pour faire de cette vue un plan exploitable sur le terrain, de nombreuses annotations devront être ajoutées. La réalisation des plans d'exécution de cette façon est chronophage par rapport à la qualité obtenue. Les différentes maquettes sont issues de logiciels qui travaillent en deux dimensions, il est alors plus aisé de réaliser les plans d'exécution depuis ces logiciels qui sont optimisés pour la production de plans.

En revanche, la production de coupe est une tâche intégrée à la majorité des viewers IFC. Ces coupes permettent entre autres d'obtenir facilement la structure des différentes occupations du sol de l'aménagement.



Figure 23: Coupe de la maquette plateforme

III.3.2 Suivi de chantier

La maquette numérique de réalisation correspond à l'aménagement qui va être construit. Le suivi de chantier va donc s'appuyer sur celle-ci, ainsi la maquette 'telle que conçue' sera donc comparée à l'ouvrage 'tel que construit'. La plateforme collaborative BIM 360 est alors un outil de choix pour ce type de travail, puisqu'elle est disponible pour smartphone et tablette. Le gros avantage de cette application est qu'elle va permettre l'ouverture de nombreux formats dont l'IFC. Toutes les fonctionnalités de la plateforme seront disponibles avec l'application. Ainsi, lorsqu'il y aura un doute sur un élément construit, il pourra être contrôlé avec la visualisation de la maquette qui permet la prise de mesure et l'affichage des propriétés. Si l'anomalie est confirmée, un problème pourra être créé et associé à l'élément défectueux, il sera possible d'ajouter des photos pour illustrer le

souci et de spécifier le responsable. Toutes ces fonctionnalités sont disponibles hors connexion, il suffit juste de télécharger les fichiers au bureau et de synchroniser au retour.

Par la suite, la remise des DOE par les entreprises au maître d'œuvre pourrait bien sûr s'effectuer progressivement par le biais de la plateforme collaborative.

De la même façon que pour le suivi de chantier, la maquette pourrait être le support des potentielles réserves à la suite de la réception de l'aménagement. A la différence que la représentation utilisée serait celle modifiée à partir des DOE, qui correspond donc à l'ouvrage construit. Puis la maquette sera transmise au maître d'ouvrage afin qu'il puisse posséder le jumeau numérique du projet. Chaque élément pourrait se voir ajouter quelques attributs supplémentaires pour aider le maître d'ouvrage en cas de litige ; l'entreprise qui a mis en place cet élément et si ce dernier est concerné par une des différentes garanties¹³ qui suivent la réception avec la date d'échéance de cette garantie.

III.3.3 Gestion de l'ouvrage sur son cycle de vie

Le maître d'ouvrage se voit livrer un outil qui va lui simplifier la gestion de son aménagement. Cependant, il va devoir apprendre à l'utiliser pour réellement en avoir un usage productif.

La maquette a encore évolué suite à la remise des DOE, de nouveaux documents viennent se greffer à celle-ci. Les fiches techniques des équipements installés et les fiches de suivi et d'entretien de ces derniers, elles sont ajoutées comme de nombreux attributs aux éléments de la maquette et disponible par le biais d'URL.

La maquette est une vraie base de données qui peut être consultée à l'aide de viewer. En revanche, aucune opération ne va pouvoir être réalisée sur ces informations, et c'est pourtant l'aspect qui semble être le plus essentiel pour le maître d'ouvrage. Comme vu en partie III.2.1.1, les attributs de la maquette peuvent être exportés vers une vraie base de données ou un requêtage sera possible. La géométrie des éléments est également exportée vers la BDD, c'est-à-dire qu'il sera possible de voir en trois dimensions les objets concernés par la requête. Cette base de données pourrait donc être livrée en complément de la maquette pour être un outil de gestion et de maintenance.

¹³ Garantie de parfait achèvement, garantie de bon fonctionnement et la garantie décennale

III.4 Interaction avec les données d'un système d'information géographique

Comme nous avons vu en introduction, la notion de TIM va apparaître et son développement inclura sans aucun doute les SIG. Les données qui composent les SIG possèdent de grande similarité avec les éléments d'une maquette BIM puisqu'elles peuvent être en trois dimensions et sont constituées de nombreux attributs. En revanche, leur niveau de détail n'est pas comparable à celui du BIM, du fait d'objectifs différents.

Un SIG couvre généralement une grande surface, d'au moins une ville et dans une démarche BIM elle pourrait intervenir dans la phase de préparation des différentes esquisses. Infracore permet la lecture du format shapefile, standard des données SIG, ainsi ces dernières pourraient s'agréger de manière triviale avec celles issues de la conception d'un aménagement.

Une donnée essentielle qui est utilisée lors des phases de conception, la représentation des réseaux existants, est souvent produite au format shp. Ainsi grâce à Infracore, il serait possible de visualiser les zones de conflit sur l'emprise du projet et où pourrait s'effectuer les raccordements.



Figure 24 : Insertion de données SIG dans Infracore

Dans le futur, avec le fort développement du BIM et la possession de nombreux jumeaux numériques, les communes pourraient se munir d'un SIG qui regroupe la totalité des maquettes numériques. Il représenterait un outil de gestion à grande échelle et permettrait l'ouverture de ces différentes modélisations par l'intermédiaire de viewer IFC.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail de fin d'études est de présenter une méthode d'implémentation et de réalisation d'une maquette numérique BIM « Infra » applicable dans les plus brefs délais. Puis, il fallait exposer les différentes utilisations de ce type de maquette sur des projets de taille courante pour les communes sur lesquelles intervient le bureau d'études qui m'a accueilli.

En effet, comme nous avons vu en début de cette présentation, le développement du BIM pour les infrastructures est en marche depuis plusieurs années mais reste pour le moment élitiste puisque la majorité des retours d'expériences concernent des gros projets d'aménagements de plusieurs dizaines de millions d'euros et il en est de même pour les projets en cours qui présentent son utilisation (Grand Paris Express, Bordeaux Belvédère ...). Ce phénomène est compréhensible car la technique du BIM est essentiellement appliquée par les grands groupes du BTP et les grandes sociétés d'ingénierie. De manière générale, le BIM connaît un développement descendant, le BIM appliqué au bâtiment a généralisé ses avantages sur des ouvrages d'art, jusqu'à tendre à se « démocratiser » sur des projets de bâtiments de taille inférieure, y compris en domaine public. Il va en être de même pour le BIM « Infra », ce qui est bien compris par ma structure d'accueil. Elle souhaite devenir compétente dans ce domaine afin de faire partie des précurseurs dans sa région pour des projets de VRD en aménagement d'espaces publics ou en périphérie de bâtiments. Tout l'intérêt de cette étude résidait dans l'application des méthodes et avantages du BIM sur ces projets.

Aujourd'hui, le BEAUR travaille essentiellement avec Autocad et Covadis, il modélise certains éléments (plateforme, réseaux humides) en trois dimensions, cependant il ne livre que des documents en deux dimensions. C'est pourquoi lors de la deuxième partie, les méthodes de modélisation des différentes maquettes s'appuient majoritairement sur Covadis afin de faciliter leur intégration au sein du bureau. L'interopérabilité reste une limite importante dans la réalisation d'une maquette BIM « Infra ». Les formats propriétaires atténuent ses problèmes, notamment ceux d'Autodesk, car ce fournisseur propose une gamme de logiciels utilisables tout au long d'une chaîne de traitement BIM. Dès lors que le format IFC est utilisé pour interagir entre logiciels, voir l'IMX entre Covadis et Infracore, des pertes d'informations et des déformations de géométrie sont visibles. La structuration des IFC Infra qui va conduire à l'IFC 5 est l'évènement qui doit améliorer l'interopérabilité des données « Infra ». Enfin, la clé du succès d'un projet BIM

réside dans la collaboration qu'il y aura entre tous les intervenants lors des phases de conception, l'utilisation d'une plateforme collaborative est donc inévitable. Cette dernière est également fortement utilisée lors des phases de construction de l'aménagement qui va amener de nouveaux acteurs à intégrer le projet. La modélisation va être le support de nombreuses tâches avec l'objectif de gagner du temps mais également permettre une compréhension directe de l'aménagement. En revanche, la maquette ne va pas exclure les plans 2D, au contraire puisqu'elle est complémentaire avec ces plans, que ce soit pendant la conception ou lors de la réalisation de l'aménagement. La maquette va être utilisée par une multitude d'acteurs qui partageront leurs produits grâce à la plateforme collaborative. Enfin, le maître d'ouvrage se voit livrer un outil de gestion dont il pourra se servir sur toute la vie de l'aménagement.

A mon avis dans une dizaine d'années en France, toutes les constructions ou presque, bâtiment et infrastructure, seront mises en œuvre à l'aide des méthodes de travail BIM. Elles présentent trop d'intérêts pour ne pas s'imposer comme la meilleure façon de concevoir et construire un ouvrage dans le but final de mieux l'utiliser et l'exploiter. De plus, les utilisations de la maquette numérique sont d'une telle diversité que tous les métiers liés au monde de la construction doivent s'y retrouver (concepteurs, constructeurs et exploitants). Son utilisation sur des projets « Infra » ne présentera plus de limite ; les sociétés qui feront le choix de son utilisation percevront rapidement un retour sur investissement. Le BIM sera donc utilisé par de plus en plus de professionnels et sur des projets de toutes les tailles. Dans un souci de développement durable qui devient la contrainte principale des futures constructions, le BIM permettra d'optimiser le choix des matériaux de construction et des techniques peu consommatrices d'énergie, de faciliter la gestion des déchets de construction, de limiter l'incidence environnementale des chantiers et des ouvrages livrés... La maquette numérique va être utilisée pour des ouvrages qui devront vivre mieux et plus longtemps. Les futurs aménagements s'inséreront plus harmonieusement dans le territoire et contribueront même à compenser les effets néfastes de projets plus anciens. La démarche « TIM » va donc tendre à se développer fortement dans les années à venir.

Ce travail m'aura permis d'échanger avec de nombreux professionnels différents et d'appréhender de nombreuses notions qui définissent et constituent le BIM, dans sa mise en œuvre très pratique. Ma structure d'accueil ne travaille pas encore en BIM, et ne possède donc aucun spécialiste sur le sujet. Ce travail m'aura permis d'effectuer de

nombreuses recherches en autonomie et d'apprendre à maîtriser certains logiciels par moi-même. Cette étude aura été très enrichissante car le BIM se développe de plus en plus et la compétence dans ce domaine va devenir une nécessité pour tous les acteurs concepteurs, entreprises/constructeurs et exploitants.

Bibliographie

Ouvrages imprimés :

Nagy Guersendre, Celnik Olivier, Lebègue Eric, 2015. BIM et maquette numérique : Pour l'architecture, le bâtiment et la construction. Edition 2. Eyrolles, 767 pages.

Christophe Lheureux, 2017. BIM pour le maître d'ouvrage : comment passer à l'action. Edition 1. Eyrolles, 100 pages.

Ouvrages en ligne :

PTNB. Atelier BIM virtuel – Retour d'expériences ENTREPRISES. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.batiment-numerique.fr/uploads/DOC/ABV/PTNB%20-%20livrables%20ABV.zip>. 48p. (Consulté le 12 février 2019)

Plan Transition Numérique dans le bâtiment, 2016. BIM et maquette numérique : Guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage. [en ligne]. Disponible sur http://www.miqcp.gouv.fr/images/Guides/documentPDF/guideBIM_MIQCP.pdf 85p. (consulté le 20 juin 2019)

Travaux universitaires :

Julien Blachère soutenue le 18 décembre 2015. BIM, interopérabilité des logiciels CAO et de calculs de structure. Spécialité : GENIE CIVIL, CNAM CENTRE REGIONAL DE RHÔNE-ALPES : diplôme d'ingénieur CNAM, 105 p.

Disponible sur <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01729324> (Consulté le 21 février 2019)

Jerrold Monpierre soutenue le 5 juillet 2018. Etudes des technologies numériques innovantes et du processus BIM pour les VRD. Spécialité : Géomètre et Topographe, ESGT : diplôme d'ingénieur CNAM, 63p.

Articles de périodiques électroniques :

Le moniteur des travaux publics et du bâtiment et la fédération SYNTEC, *BIM/Maquette numérique, contenu et niveaux de développement*, Le MONITEUR, le 9 mai 2014, n°5763.

Disponible sur <https://www.syntec-ingenierie.fr/wp-content/uploads/mediavault/2017/01/2014-05-09-cahier-moniteur-bim-maquette-contenu-niveau-developpement.pdf>> (Consulté le 25 février 2019)

Sites web :

Hexabim. Les niveaux du BIM ou Level of BIM - Partie 1 et Partie 2, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.hexabim.com/blog/les-niveaux-du-bim-ou-level-of-bim-partie-1>> (Consulté le 25 février 2019)

Trimble. Le point sur les normes BIM dans le monde : votre pays sera-t-il le prochain ? [en ligne]. Disponible sur <https://mep.trimble.fr/blog/normes-bim>> (Consulté le 14 février 2019)

Minnd, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.minnd.fr>>. (Consulté le 25 février 2019)

BuildingSmart, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.buildingsmart.org>>. (Consulté le 23 mai 2019)

Conférences :

BIM World 2019, Paris, Portes de Versailles, 2 et 3 avril 2019

Table des annexes

Annexe 1 : Généralités du BIM.....	62
Annexe 1-bis : Contexte du BIM à l'étranger et en France.....	67
Annexe2 : Différentes phases du projet selon la planification 4D réalisée avec Navisworks.....	70

Annexe 1 : Généralités du BIM

III.4.1 BIM

La notion de BIM est apparue il y a une vingtaine d'année aux Etats-Unis, elle peut correspondre à plusieurs significations « Building Information Modeling - Management - Model ». Le BIM se définit comme une maquette numérique du bâtiment composée d'éléments qui contiennent des informations (apparaît alors le concept d'objet intelligent). Mais également comme un processus de collaboration basée sur la communication et l'échange en vue d'une optimisation de la réalisation de l'ouvrage. Ces deux aspects sont indissociables lorsqu'on parle de BIM.

La maquette numérique est un outil de connaissance du bâtiment et non une simple modélisation en trois dimensions de l'ouvrage. Elle ne se crée pas avec des points, lignes, volumes, etc... mais avec des objets qui sont référencés et dimensionnés par des attributs qui leurs sont propres, ils sont capables d'interagir entre eux, la maquette contient les relations spatiales des géométries des éléments.

Les méthodes de travail qui définissent cette notion permettent un gain de temps et d'efficacité, synonyme de rentabilité, par la réduction des retards et des reprises à effectuer. Elles sont également basées sur une collaboration entre les différents acteurs autour d'une même maquette, qui est le support de toutes les informations du projet.

III.4.2 L'open BIM et le closed BIM

La philosophie du processus de travail BIM est l'échange de données entre les acteurs d'un même projet. Avec le développement important de ces méthodes de travail, il est possible que ces données soit utilisées en vue d'un autre projet, notamment pour le BIM lié aux infrastructures. La notion d'open BIM consiste à travailler avec des formats standard qui peuvent être utilisés par tous, en particulier le format IFC. Alors que le closed BIM s'effectue par l'échange de données au format natif des logiciels.

III.4.3 Niveaux de détails et niveaux de développement

Une caractéristique fondamentale d'une maquette numérique est de savoir avec quelle précision ou autrement dit quel niveau de détail elle est réalisée. Aux Etats-Unis la notion de LOD est apparue pour caractériser les différents niveaux de détails.

En France, la fédération SYNTEC s'est inspirée de ces LOD pour les adapter aux étapes de la loi MOP qui décrit les différents éléments d'une mission de maîtrise d'œuvre. Ainsi un niveau de développement correspond à ce qui est attendu lors de ces différentes étapes (voir figure 1).

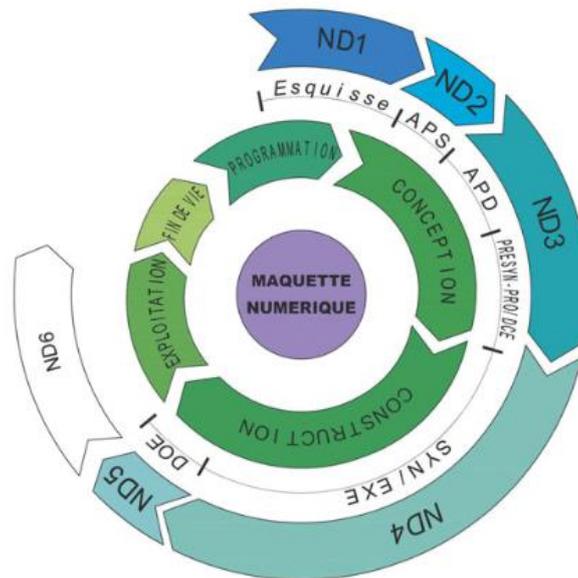


Figure 25 : Niveaux de développement selon l'avancement du projet (Source : Syntec-Ingénierie)

III.4.4 Niveaux de maturité en BIM

Il existe différents niveaux d'application du BIM qui se caractérisent par la façon de produire et de collaborer entre les acteurs tout au long d'un même projet : ce sont les niveaux de maturité en BIM. Ils sont au nombre de quatre, et le dernier (niveau 3) est l'application totale du processus BIM et l'objectif à atteindre pour tous les projets BIM dans le futur. Puis il y a trois autres niveaux intermédiaires.

Le BIM de niveau 0 : La seule production de plan en deux dimensions est utilisée, les seuls échanges entre acteurs se font par le biais de plan papier. Cette méthode doit

tendre aujourd'hui à disparaître, elle ne présente en rien les intérêts majeurs de la méthode BIM.

Le BIM de niveau 1 : La production de maquette numérique est envisagée mais elle ne sera jamais échangée ou transmise aux autres acteurs. A ce niveau seulement les plans au format papier et natif (dwg) sont échangés, mais ces derniers ne contiennent en général pas beaucoup plus d'informations qu'un plan papier. La plus grosse différence avec le niveau 0 est l'utilisation d'outils d'échange plus performants que le simple mail avec lien de téléchargement. Ce niveau peut représenter les prémices aux méthodes BIM.

Le BIM de niveau 2 : A ce niveau, il y a de nombreux acteurs qui travaillent à l'aide de maquette numérique. Ils y représentent les éléments de leur domaine d'intervention avec les informations nécessaires. Par la suite, il y a un échange de ces maquettes, dans un format interopérable, par le biais d'une plateforme collaborative accessible par tous les acteurs du projet. Puis une personne « le BIM Manager » aura la charge d'assembler toutes ces maquettes pour en réaliser une seule complète et d'en vérifier la cohérence. Nous pouvons parler réellement de BIM seulement à partir de ce niveau, une réelle collaboration s'installe entre tous les collaborateurs du projet.

Le BIM de niveau 3 : Cette méthode de travail n'est pas basée sur un système d'échange d'informations contrairement aux autres niveaux. En effet, une seule et unique maquette collaborative est produite. Tous les acteurs travaillent sur une même maquette numérique et mettent à jour leurs données quand leur domaine d'intervention entre en jeu. Cependant, un tel niveau de coopération est à ce jour difficilement atteignable, et de nombreux points sont encore à préciser. Notamment sur la responsabilité : quel collaborateur sera responsable de tel ou tel sinistre. Mais également un souci de transparence : tous les acteurs peuvent-ils avoir accès à la totalité de la maquette ? Il est nécessaire de définir des restrictions en fonction des intervenants afin qu'ils ne puissent accéder et modifier que les informations dont ils sont compétents. Ce niveau est l'application totale du processus BIM avec tous ses avantages mais certains aspects doivent être clairement précisés dans les conventions BIM.

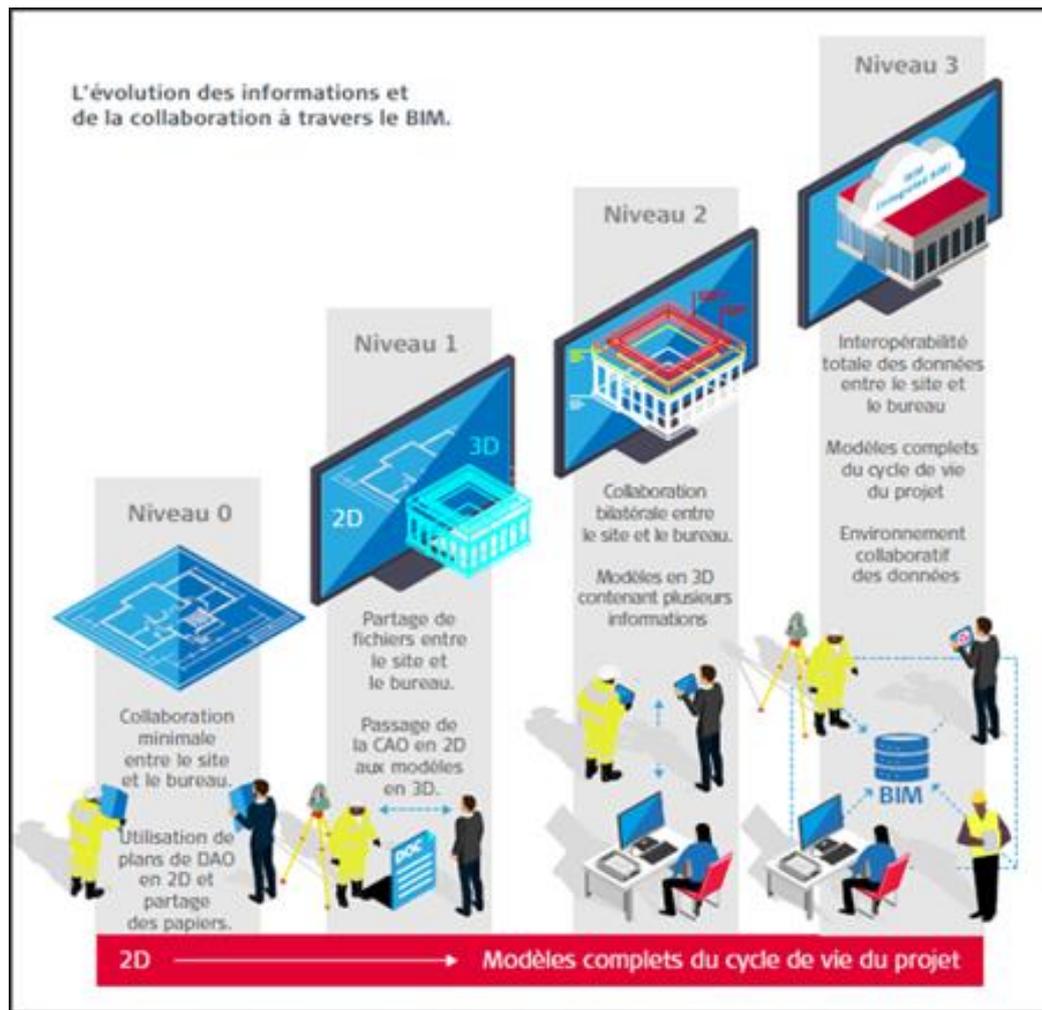


Figure 26 : Niveaux de BIM (source : Suivre la transition vers le BIM – livre blanc : Leica)

III.4.5 Le format IFC

Il permet l'interopérabilité entre les différents acteurs d'un projet, en effet la grande majorité des logiciels de modélisation proposent un export IFC. C'est un format orienté objet¹⁴ qui assure la description des objets, ses caractéristiques et définit les relations spatiales avec les autres objets. Ce format ne cesse de s'améliorer au cours du temps afin de proposer de nouvelles extensions et permettre la définition de plus en plus d'éléments.

¹⁴ Langage ou logiciel qui utilise une structuration d'information exploitant les concepts de classes, attributs et relations

III.4.6 CIM

L'essor du BIM est très important, les avantages procurés par cette méthode de travail sont indéniables, c'est pourquoi son utilisation est train de dépasser la simple échelle du bâtiment pour s'appliquer à toute ou partie d'une ville. Le concept de CIM « City Information Modeling » est alors employé. Il pourra être utilisé pour favoriser la conception d'aménagements importants et aider les collectivités dans la gestion de quartiers. De nombreuses études seront réalisables (simulation de trafic, impact visuel d'un ouvrage, modélisation de risque naturel...) et constituent un outil de communication avec la population locale. Cette notion est à associer avec le format CityGML qui est le standard dans la représentation des villes.

Annexe 1-bis : **Contexte du BIM à l'étranger et en France**

III.4.7 Contexte du BIM à l'international

Les Etats-Unis sont de véritables pionniers en termes de BIM, depuis 2010 son utilisation est obligatoire pour tous les grands projets publics. Les pays scandinaves connaissent et utilisent les avantages du BIM depuis une dizaine d'années. Un autre leader dans l'usage du BIM est le Royaume-Uni qui a lancé en 2011 une stratégie d'implémentation de ce processus ; en 2016, son gouvernement rend même obligatoire le BIM de niveau 2 pour tous les projets publics, ce sont les premiers à imposer un certain niveau de BIM. Le BIM est également imposé dans d'autres pays comme les Pays-Bas, la Corée du Sud, Singapour, etc... Le gouvernement allemand a déployé un plan pour rendre obligatoire l'utilisation du BIM pour tous les projets publics d'infrastructure d'ici à 2020.

Des organismes à vocation internationale portent les valeurs du BIM, travaillent pour optimiser l'interopérabilité et favoriser l'implémentation du BIM à travers le monde. Le plus important est sans aucun doute BuildingSMART, qui possède des filiales dans de nombreux pays (dont le France). L'un de leur chantier principal concerne le développement de normes internationales pour l'interopérabilité (le format IFC), et actuellement une extension du format IFC spécifique aux infrastructures, les IFC Alignment.

III.4.8 L'implémentation du BIM en France

Tous les pays jouant un rôle majeur dans le monde du bâtiment ont lancé des campagnes pour adopter le BIM au plus vite, il est même obligatoire pour les projets publics dans la majorité d'entre eux. La France avait pris un peu de retard dans ce domaine, même si plusieurs acteurs privés avaient déjà compris et commencé à utiliser ces méthodes. Mais depuis quelques années, des mesures sont prises par le gouvernement pour vanter les avantages du numérique et pour aider les professionnels à travers le développement d'outils.

III.4.8.1 Le Plan de transition numérique dans le bâtiment (PTNB)

Il est entré en vigueur officiellement le 20 janvier 2015, une enveloppe de vingt millions d'euros lui a été alloué et il possède trois objectifs majeurs :

- Expérimenter, capitaliser, convaincre et donner envie de s'approprier le numérique,
- Permettre la montée en compétences des professionnels du bâtiment,
- Développer un écosystème numérique de confiance.

Ce plan introduit évidemment la notion de BIM, il base sur les retours d'expérience de tous les professionnels du bâtiment pour identifier les principaux besoins à développer pour son adoption. A ce jour, nous pouvons dénombrer plusieurs actions pour aider l'intégration du processus BIM : la mise en place d'une feuille de route normalisation, un outil d'aide à la rédaction des conventions BIM, le développement d'une plateforme collaborative gratuite... En mars 2018, un premier bilan de ce plan est réalisé, le BIM est connu chez 35%¹⁵ des acteurs du bâtiment et apparaît en très forte progression ; nous pouvons penser que ce chiffre est encore plus grand aujourd'hui. De plus, près de 15%¹⁶ des marchés publics imposent le BIM. Toutes les démarches entreprises par cette mesure, qui a pris fin en décembre dernier, vont favoriser l'adoption du plan BIM 2022.

III.4.8.2 Le plan BIM 2022

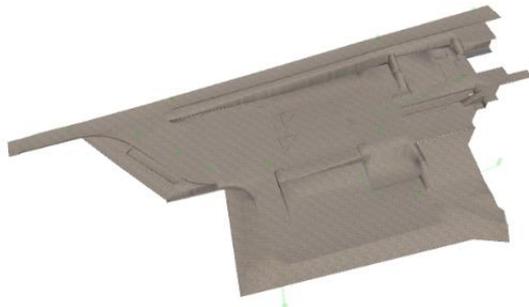
Il vient prendre la suite du plan de transition numérique dans le bâtiment et débute dès décembre 2018 avec une enveloppe de dix millions d'euros. Son objectif est de généraliser l'utilisation du numérique dans le bâtiment. Ce plan est divisé en huit actions réunies sous deux axes principaux de développement. Le premier consiste à normaliser la demande en BIM dans les projets en aidant les maîtres d'ouvrages à définir leur besoin. Le second vise à aider les professionnels à s'équiper pour utiliser le processus BIM, en définissant les compétences à avoir et par la création d'outils accessibles à tous.

¹⁵ Source bilan d'étape PTNB de mars 2018, enquête effectuée auprès de 1360 professionnels fin 2017

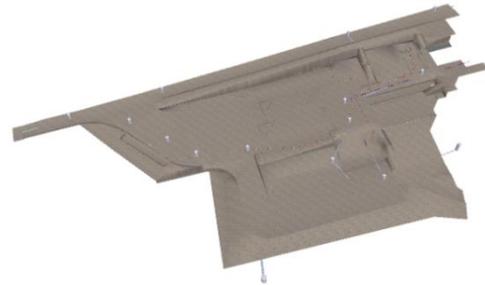
¹⁶ Source CNOA (Conseil National de l'Ordre des Architectes) en mars 2018

Malgré ces mesures qui incitent fortement à s'informer puis à travailler en BIM, aucune obligation par le gouvernement n'est prévue dans les prochaines années. Cependant, l'obligation va probablement venir du marché et des clients qui vont demander son utilisation. Afin de rester compétitive, il est essentiel pour les entreprises, notamment les PME et TPE, d'adopter ce processus de travail.

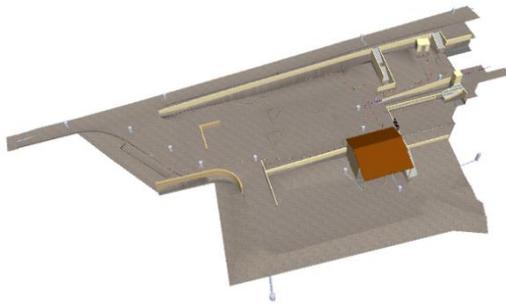
Annexe 2 : Différentes phases du projet selon la planification 4D réalisée avec Navisworks



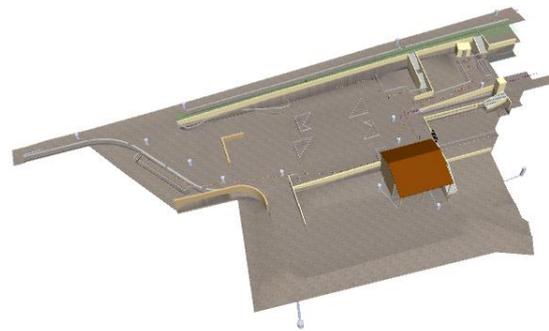
Phase 1 : Terrassement



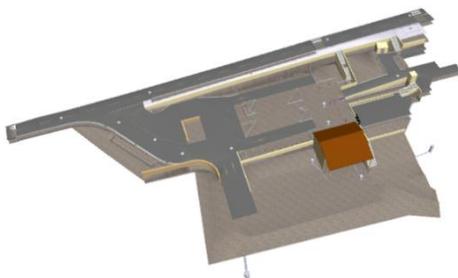
Phase 2 : Pose des canalisations



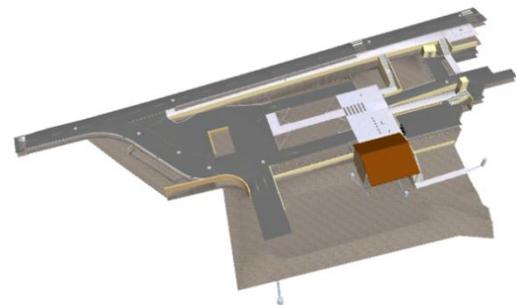
Phase 3 : Réalisation du gros oeuvre



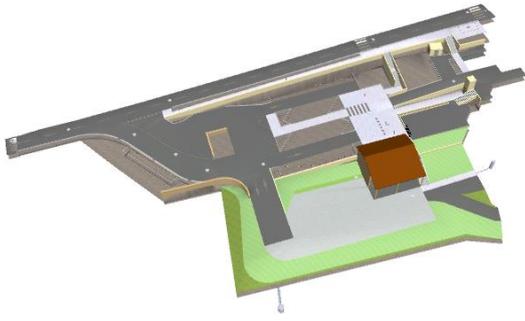
Phase 4 : Pose des bordures et caniveaux



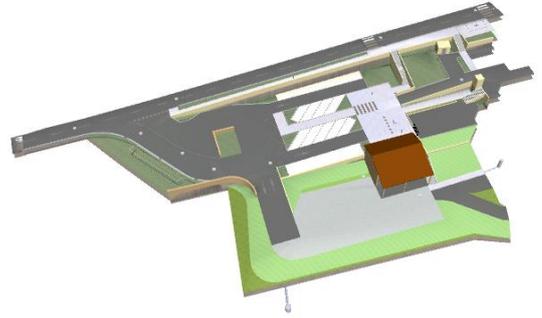
Phase 5 : Création des voies de circulation



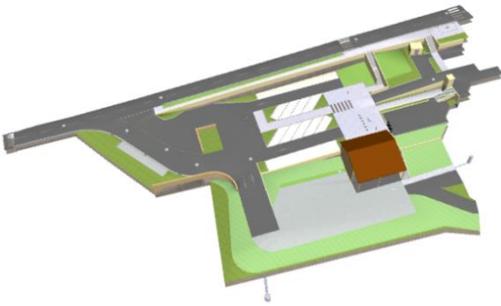
Phase 6 : Création des voies piétonnes de la partie haute



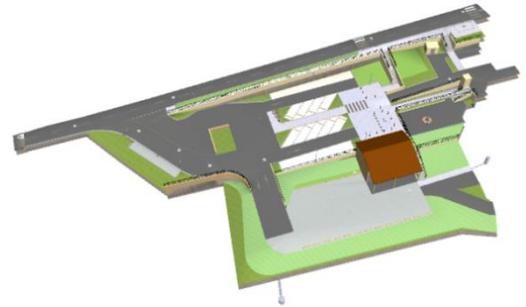
Phase 7 : Aménagement des espaces de la partie basse



Phase 8 : Création des aires de stationnement de la partie haute



Phase 9 : Aménagement des espaces de la partie haute



Phase 10 : Insertion du mobilier urbain



Phase 11 : Plantations des différentes essences d'arbres



Phase 12 : Marquage au sol

Liste des figures

Figure 1 : Structuration de la démarche BIM (Source : Charte BIM de la société du Grand Paris)	19
Figure 2 : Jeux de propriétés BIM.....	26
Figure 3 : Projet linéaire au format IFC	28
Figure 4 : Renseignement sur la géométrie et la structure des plateformes	29
Figure 5 : Maquette voirie-plateforme au format IFC vue de haut	30
Figure 6 : Maquette voirie-plateforme au format IFC vue de devant (10 mètres entre le point bas et haut).....	30
Figure 7 : Maquette réseau au format IFC	32
Figure 8 : Maquette architecturale au format IFC.....	34
Figure 9 : Programme de conversion du format obj au dwg	35
Figure 10 : Maquette végétation au format IFC	36
Figure 11 : Maquette végétation réalisée avec Infracworks.....	36
Figure 12 : Modèle créé par Infracworks.....	39
Figure 13 : Insertion de la maquette dans son environnement	40
Figure 14 : Maquette assemblée au format IFC	40
Figure 15 : Esquisse 1 vue avec Infracworks.....	44
Figure 16 : Esquisse 2 vue avec Infracworks.....	44
Figure 17 : Fonction GeometryPropertyExtractor	46
Figure 18 : Programme d'exportation des données IFC vers une BDD	46
Figure 19 : Planification des travaux.....	48
Figure 20 : Infographie du futur aménagement.....	50
Figure 21 : Simulation des futurs éclairages de l'aménagement	50
Figure 22 : Insertion d'éléments 3D qui permettrait la confection de plan d'installation de chantier	52
Figure 23: Coupe de la maquette plateforme	53
Figure 24 : Insertion de données SIG dans Infracworks	55

Recherche d'un workflow BIM Infra pour un cabinet d'ingénierie VRD indépendant

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2019

RESUME

Le BIM ne se limite plus au simple bâtiment, les méthodes de travail qui le définissent présente des avantages tellement importants que son utilisation s'est étendue aux infrastructures.

Un outil permet d'entretenir la communication entre tous les acteurs du même projet, la plateforme collaborative, elle va être le support de toutes les données de l'aménagement. Les différentes modélisations seront partagées par le biais de cette plateforme afin que tous les intervenants en prennent connaissance. La maquette numérique doit faciliter la réalisation de nombreuses tâches et pour la majorité des collaborateurs du projet, elle a vocation à être utilisée de la conception à la démolition de l'ouvrage.

Mots clés : BIM, infrastructure, VRD, maquette numérique.

SUMMARY

BIM isn't longer limited to the simple building, the working methods that define it shows so much advantages that its use has extended to infrastructure.

A tool allows to maintain communication between all the actors of the same project, the collaborative platform, it will be the support of all data of the layout. The different models will be shared through this platform so that all stakeholders can take note of it. Digital model is intended to facilitate the execution of many tasks and for the majority of project co-worker, it's intended to be used from the design to the demolition of the work.

Key words: BIM, infrastructure, VRD, digital model.