



HAL
open science

Quelles sont les conséquences des pratiques du BIM à travers la méthodologie et l'exploitation des données par les outils ?

Thibault Pouch

► To cite this version:

Thibault Pouch. Quelles sont les conséquences des pratiques du BIM à travers la méthodologie et l'exploitation des données par les outils?. Architecture, aménagement de l'espace. 2016. dumas-01804184

HAL Id: dumas-01804184

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01804184>

Submitted on 31 May 2018

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

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

Copyright

Mémoire de séminaire : conditions de consultation

Ce document est protégé par le droit d'auteur (art. L. 112-1 du Code de la propriété intellectuelle).

L'auteur du document accorde les droits d'usages suivant :

| | OUI | NON |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Consultation sur place | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Impression | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Diffusion Intranet | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Diffusion Internet | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Exposition | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Publication non commerciale | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse

Mémoire Master 1

**Quelles sont les conséquences des
pratiques du BIM à travers la
méthodologie et l'exploitation
des données par les outils ?**

Présenté par :

Thibault Pouch

Sous la direction du Jury :

Goulette Jean-Pierre

Ferries Bernard

Marques Sandra

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaite remercier mon équipe enseignante Sandra Marques, Jean-Pierre Goulette et Bernard Ferries qui ont su m'initier dans le cadre du séminaire à l'utilisation des outils numériques mais également m'impliquer dans une réflexion tournée autour de notre rapport à lui et à l'être humain.

Je souhaite également remercier Amandine Bonal, ingénieure chargée d'affaire à Bourdarios, Vinci Construction pour m'avoir donné des conseils dans le cadre de son travail dans le domaine de l'entreprise et de ses interactions avec les autres acteurs.

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

Table des matières

| | |
|---|----|
| | 1 |
| | 1 |
| Remerciements | 2 |
| 1. Objectif de travail | 5 |
| 1.1. Contexte général | 5 |
| 1.1.1. Les nouveaux enjeux du monde contemporain | 5 |
| 1.1.2. La problématique des méthodes actuelles | 6 |
| 1.2. Objectif du mémoire : pourquoi ce sujet | 7 |
| 1.3. Méthodologie | 8 |
| 2. Les généralités du BIM – Définition et explication | 8 |
| 2.1. Définition du BIM | 8 |
| 2.2. L'interopérabilité | 11 |
| 2.2.1. Les IFC, les normes, les formats | 11 |
| 2.2.2. Le paramétrage de l'IFC: la Sémantique | 13 |
| 2.2.3. Les outils, les plateformes d'échange (Evebim, Buildingsmart), les logiciels | 18 |
| 2.3. Niveau d'organisation du BIM | 19 |
| 2.3.1. Les niveaux de maturité BIM | 20 |
| 2.3.2. Niveau de représentation et d'information du modèle | 22 |
| 2.4. La mission de synthèse : le BIM manager | 26 |
| 3. L'exploitation du BIM dans un projet | 29 |
| 3.1. Méthodes de travail actuelles | 29 |
| 3.1.1. La loi MOP et les phases de réalisation du projet | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.2. Les types d'appels d'offres..... | 33 |
| 3.2. Méthodes de travail avec le BIM | 36 |
| 3.2.1. La convention BIM | 37 |
| 3.2.2. BIM décathlon..... | 44 |
| 3.3. Les applications du BIM : conséquences et problématiques..... | 55 |
| 3.3.1. Les dimensions du BIM..... | 55 |
| 3.3.2. L'Ingénierie concourante..... | 56 |
| 3.3.3. Requalification, redistribution ou déplacement des compétences et des responsabilités ? | 59 |
| 3.4. Le cas du projet : La Cité des Vins et des Civilisations..... | 63 |
| 3.4.1. Les différents cas d'exploitation de la maquette numérique..... | 65 |
| 3.4.2. Les études du projet par l'intermédiaire de la maquette..... | 68 |
| | |
| 4. Conclusion générale | 78 |
| | |
| 5. Liste des figures | 79 |
| | |
| 6. Bibliographie | 81 |
| 6.1. Généralités | 82 |
| 6.2. Méthodologie et gestion de projet..... | 82 |
| 6.3. Cadre réglementaire..... | 83 |
| 6.4. La Cité des Vins et des Civilisations..... | 83 |
| 6.5. Le BIM Décathlon..... | 84 |
| 6.6. Conférence..... | 84 |

1. Objectif de travail

Ce mémoire a pour objet d'établir une vision générale du BIM qui par le caractère très spécifique de la construction rend sa vision très complexe les niveaux d'imbrication des interactions entre les acteurs et le contexte du projet. Il a pour rôle également d'identifier les méthodes de gestion du projet BIM. Ce travail de recherche permet de promouvoir le caractère nouveau qu'implique l'utilisation des nouveaux outils et d'essayer d'en comprendre les conséquences.

1.1. Contexte général

1.1.1. Les nouveaux enjeux du monde contemporain

Dans le cadre de l'enseignement de séminaire « Architectures Paramétriques » à l'école Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse, je me suis initié aux nouvelles façons de concevoir le projet architectural par l'intermédiaire des outils numériques intégrés dans un processus de création. J'ai abordé la notion d'architecture complexe définie par le paramétrage. Dans un second temps, nous avons intégré la notion du BIM (acronyme de Building Information Model) comme un processus de méthodologie collaborative par l'intermédiaire de la maquette numérique comme support de données.

Aujourd'hui, ces deux thèmes « Architectures Paramétriques » et « BIM » sont essentiels pour répondre aux nouveaux enjeux du monde contemporain. C'est une évolution qui n'est pas le simple fruit d'une modification d'outillage mais qui s'inscrit dans un nouveau processus de pensée par l'intermédiaire des systèmes de recherche, production et méthodologie nouveaux.

La préservation de l'environnement fait partie de ces enjeux majeurs. Ainsi, la réduction des émissions de gaz à effet de serre est devenue une nécessité. Le Grenelle de l'Environnement s'inscrit dans cette perspective environnementale en exerçant une contrainte sur le monde industriel et plus particulièrement dans le secteur du bâtiment qui, à lui seul, pèse la moitié de l'énergie utilisée en France. Ainsi, d'ici 2020, l'ensemble des bâtiments construits devront être des Bâtiments à Basse Consommation (BBC) soit l'équivalent pour le logement neuf de 50 kWhep/(m²SHON.an) et dans la rénovation : 80 kWhep/(m²SHON.an). Dans ce contexte, la prise en compte de l'énergie primaire induite par le cycle des produits du bâtiment devient une donnée importante. Outre l'énergie, cette notion de préservation doit se penser dès le début de la conception du projet architectural, comme par exemple la morphologie, l'implantation, l'orientation...

L'autre aspect déterminant du projet est l'augmentation des exigences économiques. Depuis maintenant une quinzaine d'années, le coût de la construction n'a cessé d'augmenter (Olivier TOMMASINI, Analyse de l'évolution des prix et des coûts dans le bâtiment, 2013). Outre la flambée des prix de l'énergie et des matières premières, l'accumulation des normes (relatives à la protection incendie, l'acoustique, la thermique, l'accessibilité, la construction parasismique...etc.) est en grande partie responsable de cette augmentation. Ainsi, pour répondre à ce souci de performance, le projet architectural s'est considérablement complexifié.



Figure 1.1 : Les enjeux et besoins dans le bâtiment (Cuba Segura, 2004)

Cependant cette complexité ne résulte pas seulement de l'augmentation des exigences en termes de performances économiques, énergétiques et environnementale des bâtiments (Figure 1.1). Elle répond également à un besoin des architectes de libérer la morphogénèse du projet pour libérer la création architecturale. Par le dépassement des contraintes techniques, on développe ainsi l'expérimentation qui devient une résultante de nouveaux procédés techniques et constructifs.

1.1.2. La problématique des méthodes actuelles

Aujourd'hui nos pratiques du projet et nos méthodologies sont clairement remises en question, non pas qu'elles ne fonctionnent pas mais si l'on veut répondre aux nouveaux enjeux dans une approche du projet qui tienne compte de l'ensemble du cycle de vie d'un ouvrage, il faut penser la réalisation du projet dans une démarche de développement durable.

La problématique est que la complexité déterminée par ces nouveaux enjeux amène à travailler de façon beaucoup plus rigoureuse sur la gestion des informations et des échanges. Nous avons besoin d'utiliser, de générer et d'intégrer de plus en plus de données. Seulement, nos méthodes de travail nous amènent à agir de façon trop séquentielle et ne s'inscrivent pas dans une action continue. Le travail des collaborateurs n'est pas exploité à cent pour cent. Tout au long des étapes du projet, il subsiste des erreurs. Souvent ces erreurs sont dues à une mauvaise communication et transmission des données. Comme on peut le constater dans de nombreux témoignages sur les problématiques de gestion de conflit par exemple (Bertrand DELCAMBRE « rapport mission numérique bâtiment », 2014), les pratiques actuelles conduisent bien souvent à une ressaisie des données au lieu de les intégrer directement. Cette action entraîne un surcoût de travail et un risque accru d'erreurs qui peuvent se répercuter dans le devenir de l'ouvrage. Ces erreurs sont principalement dues à une mauvaise façon de collaborer et à la non interopérabilité de nos outils.

Ces nouveaux enjeux amènent à un besoin de nouvelles compétences et des transformations des métiers du bâtiment s'opèrent. Le nombre d'acteurs augmente et les spécialisations aussi. Cependant cette spécialisation des compétences de chacun ne peut plus rester cloisonnée aux différents corps de métiers. Bien au contraire, celle-ci doit pouvoir inter-échanger par l'intermédiaire d'une nouvelle forme collaborative qui converge dans une approche globale du projet.

1.2. Objectif du mémoire : pourquoi ce sujet

A peine rentré dans la conscience collective, le BIM impacte considérablement nos pratiques habituelles. De part sa non maîtrise, son manque de connaissance et de vision, il nous bouscule comme il peut nous permettre d'améliorer nos conditions de travail par la remise en question de nos pratiques. Etant étudiant à l'école Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse, j'ai découvert le BIM dans le cadre du séminaire intitulé « Architectures Numériques ». A travers son enseignement et mes expériences, j'ai pu découvrir cette notion qu'est le BIM. Parce qu'il touche à l'ensemble des domaines et acteurs du bâtiment et qu'il interagit avec nos propres pratiques du projet, ses limites deviennent difficiles à cerner. C'est pourquoi j'ai souhaité continuer ma formation du BIM en m'intéressant à cette nouvelle forme de travail afin d'en évaluer ses conséquences et son potentiel sur nos pratiques actuelles. J'ai voulu essayer de comprendre comment se mettaient en place ces nouvelles pratiques du BIM et ainsi découvrir ses limites à travers la méthode et les outils du projet.

1.3. Méthodologie

Sujet du mémoire : Quelles sont les conséquences des pratiques du BIM à travers la méthodologie et l'exploitation des données par les outils ?

Pour répondre à cette question, nous allons tout d'abord présenter les concepts du BIM afin de comprendre un peu mieux ce processus. Nous nous attarderons sur les bases qui définissent le BIM.

Dans un second temps, nous nous intéresserons à l'exploitation du BIM dans un projet pour mesurer les conséquences qu'elle induit. Pour ce faire, nous nous situerons dans le contexte actuel afin de définir le fonctionnement des méthodes de travail d'aujourd'hui. Ainsi, nous parlerons de la loi MOP qui participe à la condition d'organisation du projet par la réglementation. Nous nous intéresserons également aux différents types d'appels d'offres qui peuvent suggérer une conduite de travail. Puis nous aborderons la mise en place de méthodes BIM à travers la convention BIM. Ainsi nous verrons comment s'articule le BIM avec l'histoire en faisant apparaître son potentiel et les limites induites par son contexte. Pour expliciter les propos, nous nous intéresserons à des exemples concrets comme le Concours du BIM Décathlon réalisé en 2015 et le cas du projet de la Cité des Vins et des Civilisations de l'agence X-TU-architecture.

2. Les généralités du BIM – Définition et explication

2.1. Définition du BIM

L'acronyme BIM signifie en anglais « Building Information Modeling »

On peut trouver la définition du terme BIM sur Wikipédia par la retranscription en français suivante :

- « Modélisation des données du bâtiment (Rémy Mario, « Le BIM, pierre angulaire de la ville intelligente et durable », Le Moniteur Architecture, juin 2014)
- « Bâti et informations modélisés » (BIM France, « BIM – Bâti et informations modélisés », sur BIM France, 29 juillet 2015)
- « Modèle d'information unique du bâtiment, ou encore Maquette numérique du Bâtiment (MNB).

C'est une technologie et des processus associés pour produire, communiquer et analyser des modèles de construction (Eastman, 2011) ».

Le « I » d'information désigne les données qui définissent l'ouvrage. Elles sont les éléments qui déterminent le projet architectural. Tout au long de sa vie : de sa conception à sa destruction, le projet se construit par la fabrication de ces données.

La construction et l'existence d'un ouvrage dépendent de la capacité à communiquer, maîtriser et interagir avec les différents acteurs et usages du bâtiment.

Le BIM est ainsi une méthode pour communiquer et transmettre des informations. Il établit, organise et définit les relations avec autrui selon une méthodologie collaborative précise autour d'une maquette numérique. Il s'agit de modéliser les données architecturales et de les centraliser dans une maquette numérique.

Petit à petit, elles sont accumulées, triées, hiérarchisées et gérées. Elles sont l'essence qui définit le projet, c'est en quelque sorte l'identité du projet. Ce sont aussi des valeurs qui permettent de faire des choix dans l'orientation du processus de construction du projet. Elles permettent de faire des analyses et de prendre les décisions en conséquence. Fabriquer et partager les données devient essentiel. Cette volonté de préserver l'information est intégrée aux éléments et aux phases d'un projet. La conception, la construction et l'exploitation constituent le projet architectural pendant son cycle de vie. C'est ce que l'on appelle le PLM (Product Lifecycle Management).

Dans les schémas de Olivier Celnik, Eric Lebègue, on peut distinguer la différence entre la méthodologie d'avant le BIM et avec le BIM (Figure 2.1.1). Ils représentent l'organisation de travail avec les échanges entre les différentes phases de projet représentatives des échanges entre les corps de métiers.

Figure 2.1.1 : illustration des paradigmes entre la méthode sans BIM avant et la méthode BIM de
Olivier Celnik, Eric Lebègue

Nous pouvons réinterpréter ce schéma BIM avec le schéma de Schanon (Figure 2.1.2) dont la notion de communication s'articule autour de :

- L'émetteur, la personne qui envoie le message
- Le récepteur, la personne qui reçoit le message
- Le message, les informations ou connaissances transmises
- Le canal, ce par quoi le message est transmis (*auditif, visuel ou audiovisuel...*)
Le support, l'outil utilisé pour transmettre le message (*mail, fax, tv, ...*)
- Le retour ou feed-back, élément « facultatif », le message que renvoie le récepteur à l'émetteur

Figure 2.1.2 : illustration du schéma de Schanon

Si nous réadaptons cela, nous obtenons le schéma suivant : (Figure 2.1.3)

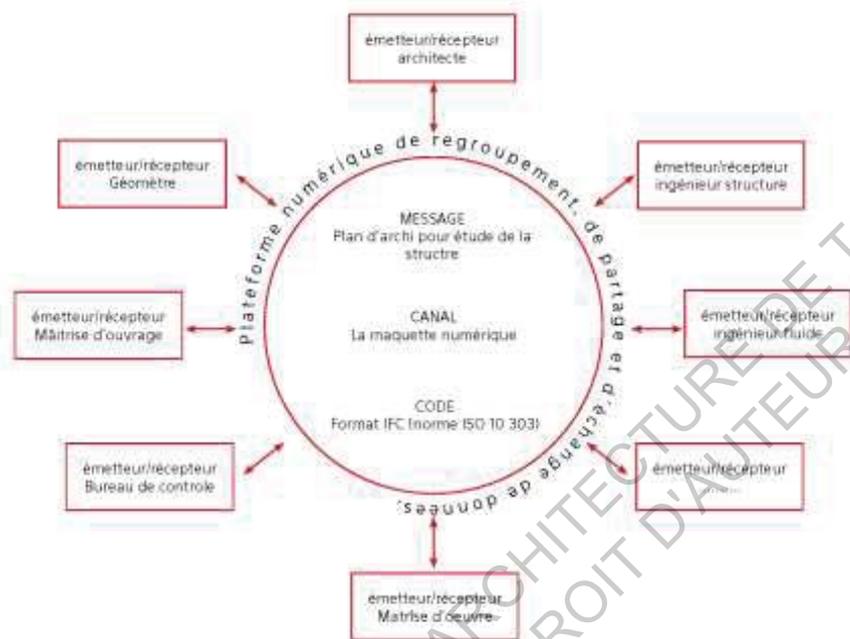


Figure 2.1.3: illustration de la méthode BIM avec le schéma de la communication Schanon

Par le biais des outils numériques, le BIM se matérialise par l'emploi d'une maquette numérique à 3 dimensions dont le format est normé. C'est un outil qui permet d'assurer l'interopérabilité entre les différents acteurs du bâtiment. Chaque acteur alimente le modèle 3D selon l'avancement du projet. Elle permet de visualiser les éléments du projet et d'avoir des renseignements. On peut établir des simulations de projet. Elle centralise l'information afin de pouvoir exploiter les différentes données que chaque acteur fabrique et agrément. Ainsi, par un jeu d'interdépendance, selon la qualité de l'utilisateur chacun peut accéder et exploiter le travail de chacun via la maquette. Le risque d'erreurs est bien plus limité (Figure 2.1.4). Cette facilité d'échange et de centralisation permet de gagner en efficacité pour la réalisation du projet. Tout au long du processus, la maquette devient un élément virtuel pour la gestion et l'optimisation dans le cycle de l'ouvrage.

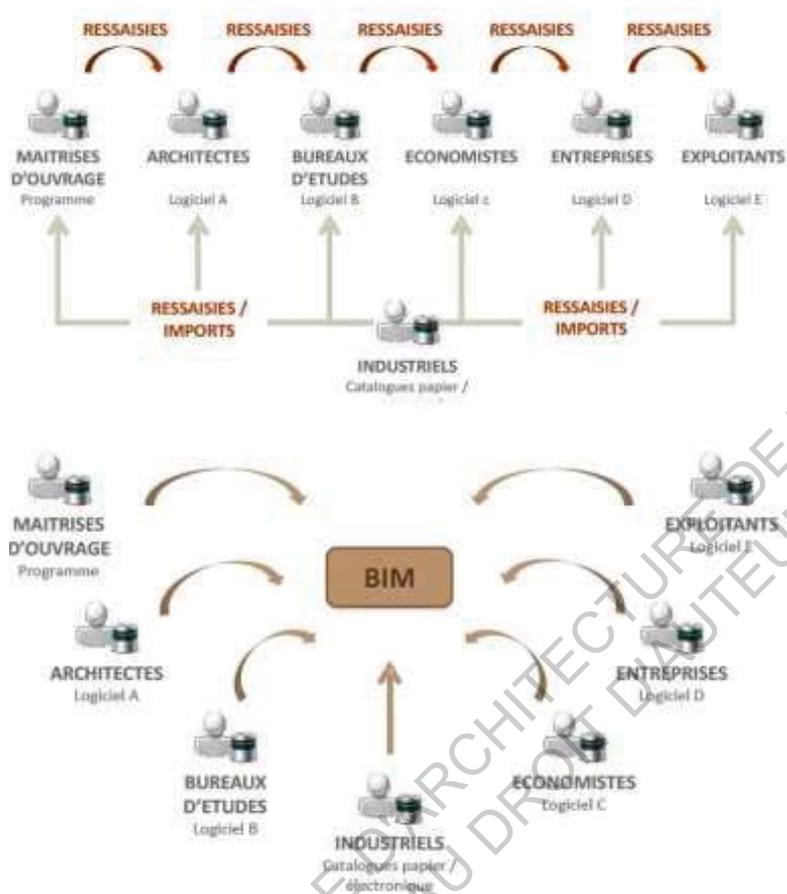


Figure 2.1.4: illustration entre la méthode de gestion des données actuelle et la méthode BIM

2.2. L'interopérabilité

Par définition, l'interopérabilité est la capacité que possède un produit ou un système, dont les interfaces sont intégralement connues, de fonctionner avec d'autres produits ou systèmes existants ou futurs et ce sans restriction d'accès ou de mise en œuvre.

2.2.1. Les IFC, les normes, les formats

Afin de permettre l'interopérabilité entre les logiciels, le BIM s'appuie sur l'IFC (Industry Foundation Classes). C'est un format de fichier défini par une norme d'échange de données internationale STEP (Standard for the Exchange of Product data) dans le langage informatique ISO 10303-21. Il décrit des objets dont on a besoin pour concevoir l'ouvrage. L'IFC a pour fonction d'assurer un langage commun et neutre entre les acteurs de la maquette numérique. C'est là un changement majeur dans la façon de produire

aujourd'hui.

Dans un projet de construction, chacun des intervenants utilise des logiciels techniques propres à son métier. Là où chaque profil a l'habitude de travailler avec ses propres méthodes et outils - ce qui en soit n'est pas mauvais et est parfois une nécessité pour créer la diversité ; il s'avère que ces derniers doivent dorénavant réapprendre à communiquer afin d'assurer l'échange d'informations tout au long du cycle et donc intégrer le même langage. Outre l'utilisation du format IFC, on assiste à l'émergence de la mise en place de plug-ins. En comparaison à d'autres secteurs de type industriel comme l'aéronautique, il est plus naturel que ce dernier développe une organisation et un langage commun avec plus d'aisance. L'architecture, elle, intègre un degré de compétence beaucoup plus complexe car chaque cas de construction est unique et doit s'adapter à un contexte précis. Ainsi, adopter un même langage devient beaucoup plus complexe. Pour Eric Lebègue « *Nous, acteurs du secteur du bâtiment, n'avions encore jamais de langage commun pour faciliter les échanges... tous les logiciels n'étaient jamais compatibles entre eux et nous perdions un temps fou pour récupérer les informations... aujourd'hui... nous allons pouvoir parler le même langage. Pour les éditeurs de logiciels, ce langage est un tremplin* ».

L'IFC est un format dit open-BIM, c'est-à-dire qu'il est possible d'ouvrir le fichier même si c'est une version ancienne sur n'importe quel autre logiciel qui peut ouvrir les IFC. Cela n'est possible que si le format est tenu dans un cadre indépendant et impartial. Anciennement appelé IAC, le mouvement Building Smart International (Mediaconstruct pour la France) est chargé de faire évoluer l'IFC, de promouvoir, d'assurer et de gérer la coopération des différentes structures qui composent le secteur de la construction.

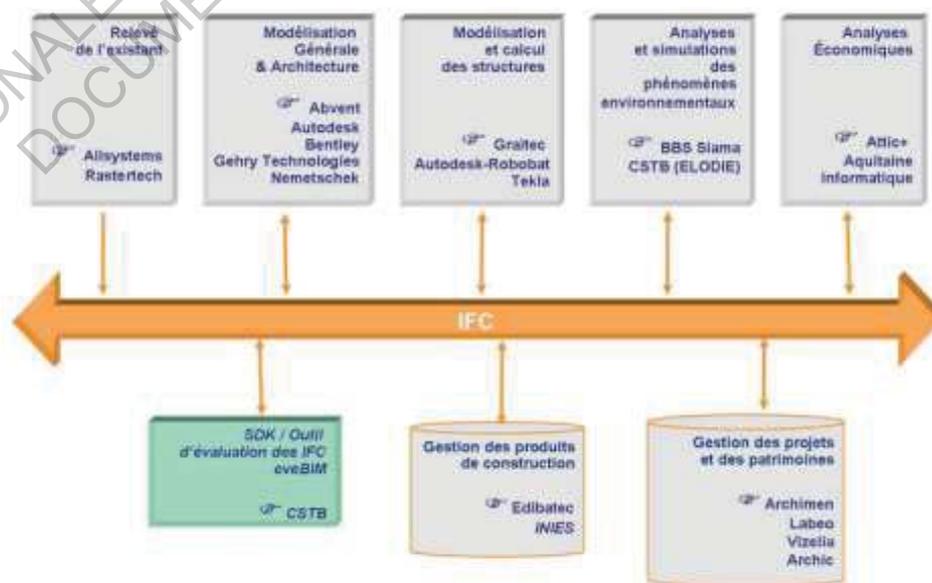


Figure 2. 2. 1 : En France, la chaîne des éditeurs dans le domaine du bâtiment impliqués dans l'interopérabilité et la maquette numérique (Source : BIMSB00K, mediaconstruct 2011)

Dans un secteur où chaque logiciel garde le contrôle de son format, il fut complexe de mettre en place une politique de construction qui tende vers l'ouverture et le partage. Longtemps, les éditeurs ont vu d'un mauvais œil ce nouveau format qui libère l'utilisateur voire supprime la dépendance à l'outil.

Les nouveaux logiciels tel que Revit ou Archicad (depuis longtemps cet éditeur avait déjà adopté cette nouvelle démarche en interne, mais en restant un système fermé on parle alors de BIM-fermé) ou autres éditeurs qui intègrent cette nouvelle complexité et demandent à l'architecte de dessiner selon cette pensée aujourd'hui. Là où la CAO 2D efface les contraintes et permet par une simple représentation graphique et intellectuelle de comprendre et de libérer la pensée, les nouveaux outils imposent des règles de dessins plus importantes. Ces dernières demandent de mieux comprendre comment marche le logiciel par exemple avec les couches hiérarchisées qui déterminent la classification du mur et donc les connexions ou encore quelles sont les relations entre les éléments de construction. Ainsi, comprendre la façon dont fonctionne le logiciel permet de dessiner. Cependant leurs contraintes paramétriques trop rigides peuvent parfois empêcher la liberté de dessiner.

Selon un témoignage de SONA, il faut être en mesure de maîtriser la complexité. Ainsi, l'outil doit pouvoir être assez libre et facilement intuitif. C'est pourquoi on assiste à une progression importante des interfaces et de leurs ergonomies qui peuvent dès lors distinguer les éditeurs.

Cette maîtrise de l'outil nous renvoie donc à comprendre comment fonctionne l'IFC. On parle alors de sémantique.

2.2.2. Le paramétrage de l'IFC : la Sémantique

Selon le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNTRL) le terme de sémantique est défini de la manière suivante : « *qui a rapport à la signification d'un mot ou d'une structure linguistique* ». Afin de répondre au mieux au langage des différents acteurs, l'IFC structure selon une méthode de classification des objets modélisés sur le principe d'arborescence où la hiérarchie devient capitale et où l'identification est universelle pour fonctionner.

Dans le chapitre 6, page 375, Celinik Lebègue explique la composition et la classification des IFC. Ces objets IFC se caractérisent et se composent selon différentes informations :

(Figure 2.2.2, Figure 2.2.3, Figure 2.2.4, Figure 2.2.5, Figure 2.2.6, Figure 2.2.7)

- par leur structuration spéciale (situation de l'objet : le site, le bâtiment, l'étage et la pièce),
- leurs relations,
- les propriétés physiques et qualitatives des matériaux, relatives à des objets IFC (IfcPropertyDefinition),
- la géométrie.

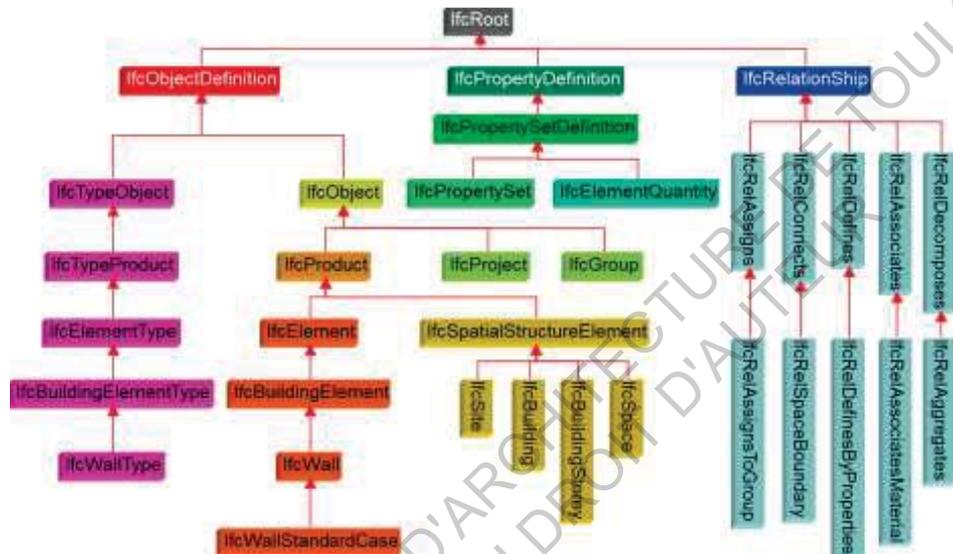


Figure 2.2.2 : Dérivation des principales classes IFC (Eric Lebègue, 2014)

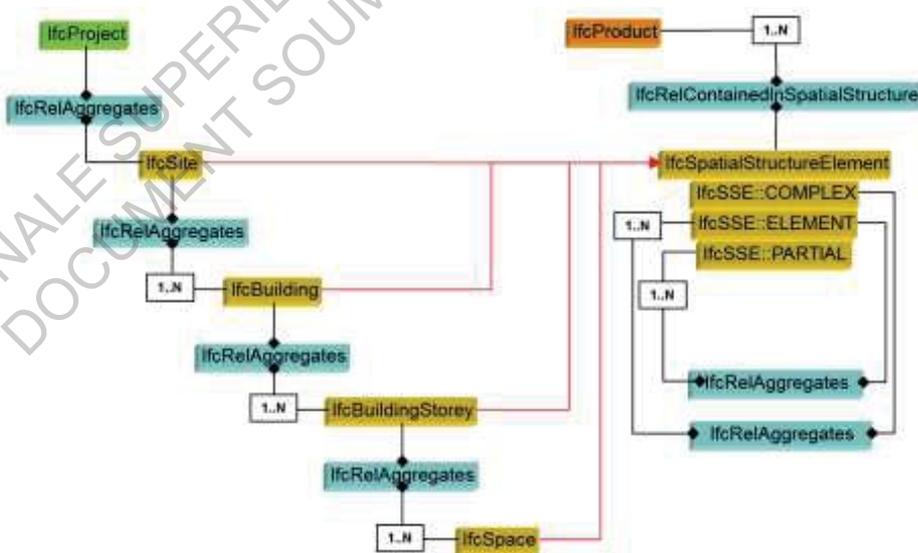


Figure 2.2.3 : Structuration spatiale d'un modèle IFC (Eric Lebègue, 2014)

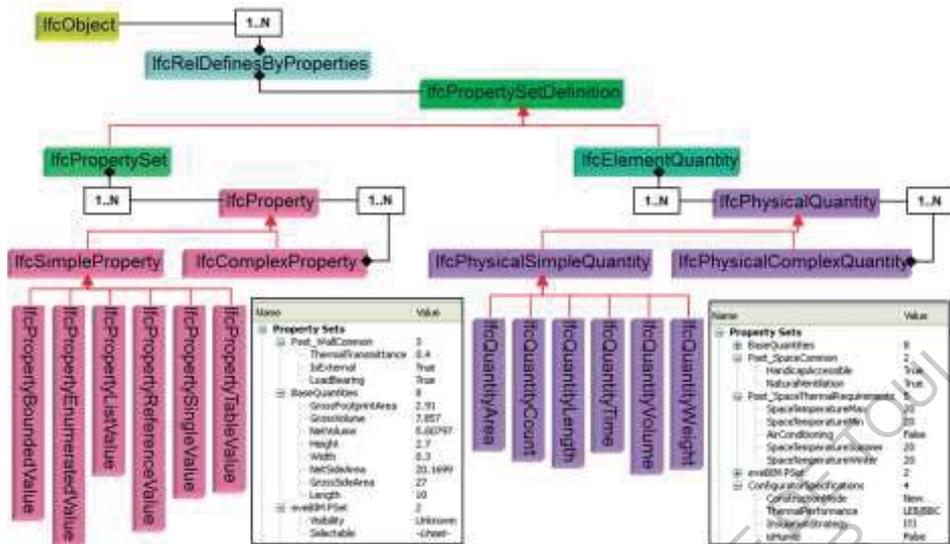


Figure 2.2.4: Propriétés et quantités des entités IFC (Eric Lebègue, 2014)

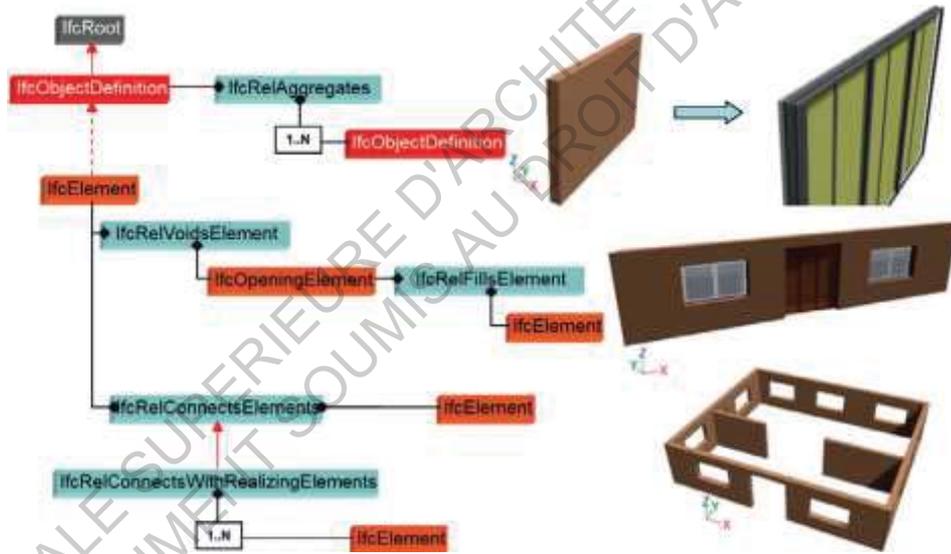


Figure 2.2.5: Exemples de relations entre entités IFC (Eric Lebègue, 2014)

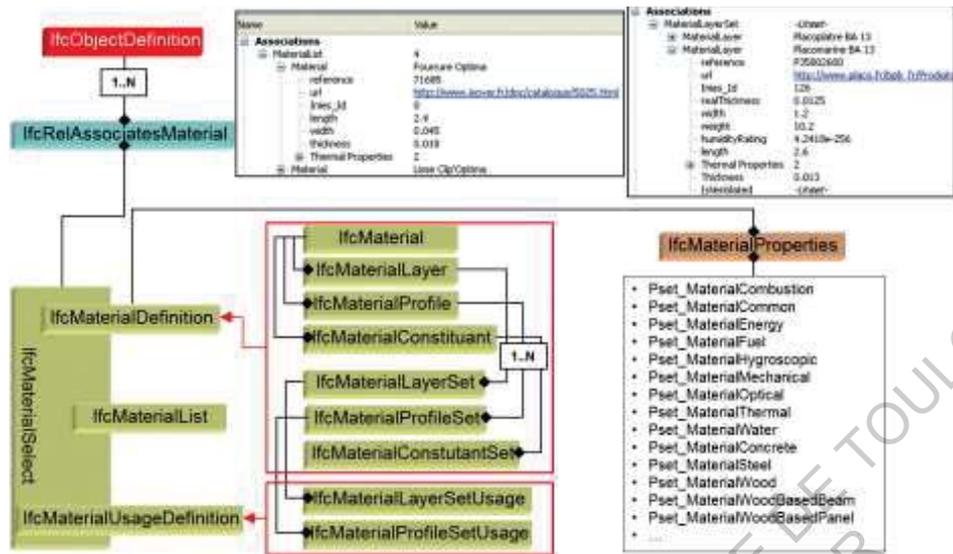


Figure 2.2.6 : Association de matériaux à une entité IFC (Eric Lebègue, 2014)

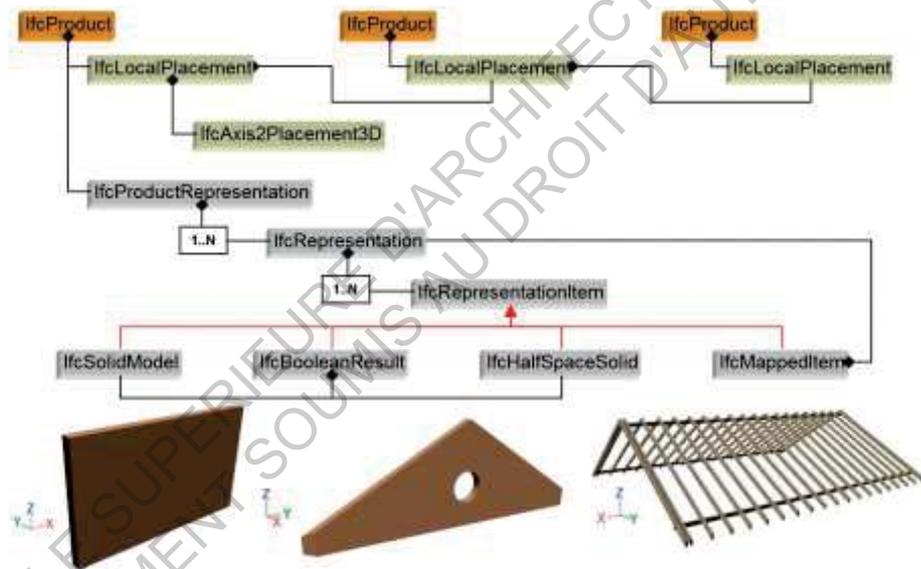


Figure 2.2.7 : Placement et géométrie des entités IFC (Eric Lebègue, 2014)

Ainsi, les sémantiques caractérisent les identités des éléments de géométrie.

Connaître et comprendre cette sémantique de IFC conduit à connaître les règles et contraintes paramétriques qu'induisent ce langage. On peut alors créer une infinité d'éléments géométriques. Modéliser les IFC à partir d'un logiciel paramétrique tel que Rhinocéros ou Grasshopper permet de se donner plus de liberté dans la mise en forme des objets et de leurs paramètres (Figure 2.2.9 et 2.2.10) par rapport à un logiciel de modélisation 3D comme Revit ou Archicad qui définit lui-même les contraintes paramétriques.

Avec l'utilisation de plug-ins comme GéométrieGym associé au logiciel paramétrique on peut modéliser des éléments en objet IFC simplement en connectant les composants

entre eux dans les conditions du langage IFC (Figure 2.2.8 et Figure 2.2.11).

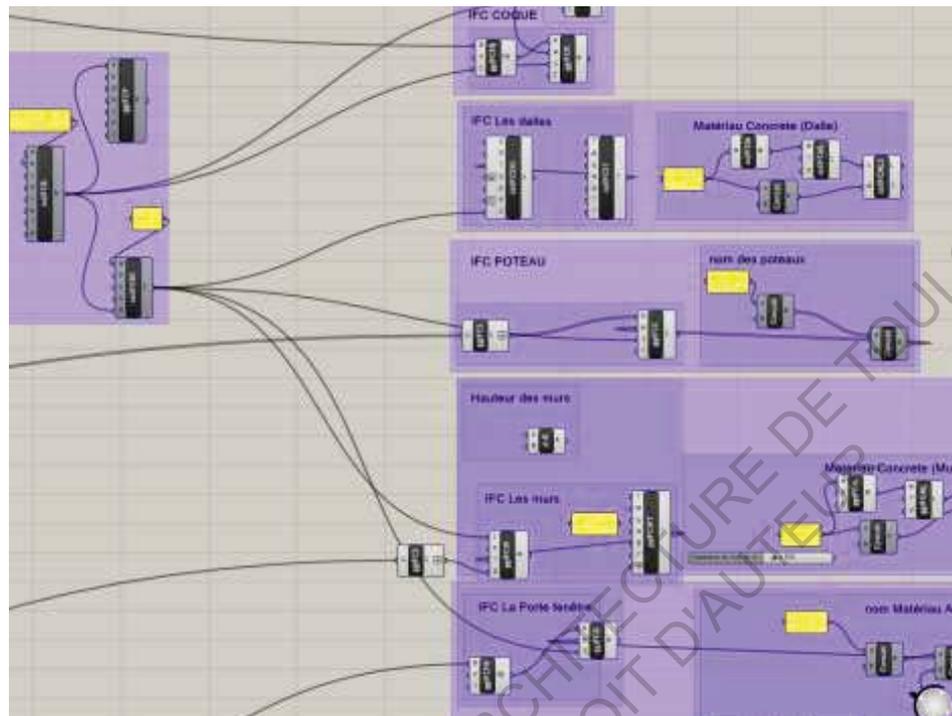


Figure 2.2.8: Exemples de transformation des géométries sur Grasshopper en entités IFC en dérivant les géométries paramétriques vers les classes principales

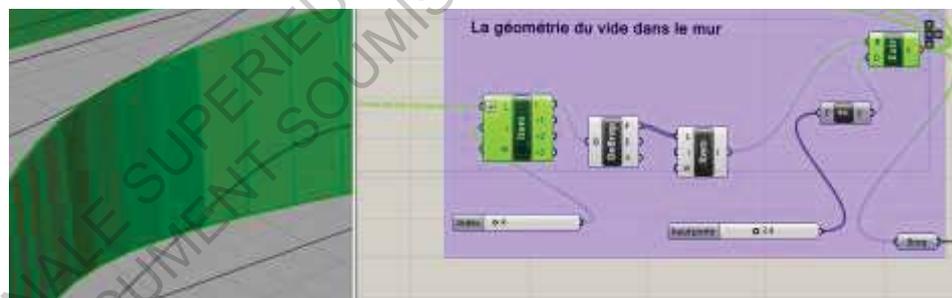


Figure 2.2.9: Grasshopper : modélisation de la géométrie d'un mur-rideau paramétrable

Figure 2.2.10: Grasshopper : modélisation de la géométrie d'une porte paramétrable

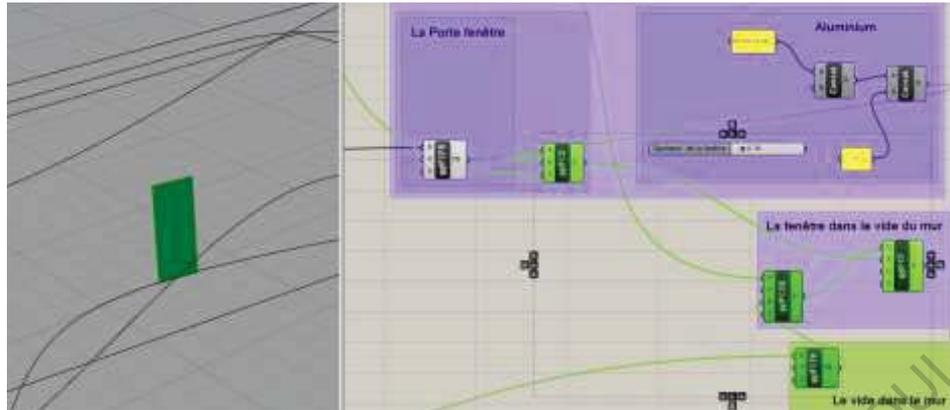


Figure 2.2.11: Grasshopper + plug-in GéométrieGym : mise en place de la géométrie de la porte paramétrable dans le mur-rideau paramétrable en composant IFC en associant les attributs et les relations des objets

2.2.3. Les outils, les plateformes d'échange (Evebim, Buildingsmart), les logiciels

Héritage du modèle de l'industrie automobile, la plateforme d'échange collaborative reprend le système dit PLM (Product Lifecycle Management). C'est un élément complémentaire du BIM. C'est un outil de gestion des cycles qui permet d'organiser et de structurer l'ensemble des maquettes numériques émis par les différents acteurs d'un ouvrage. On utilise cette plateforme pour centraliser, communiquer, échanger et rendre compréhensibles les données. La plateforme collaborative a plusieurs rôles :

- Elle contient et permet la lecture de la base de données. On l'utilise pour identifier les objets, leurs informations et documents. Elle permet de repérer les éléments macroscopiques du projet à différentes échelles dans l'espace et le temps (selon les phases par exemple) ;
- Gestion des rôles et codification des lots : chacun des acteurs ou intervenants peut, selon les conditions d'usage de la maquette définie, avoir accès à l'information. Pour cela, ils disposent de droits d'accès. Selon la notification, ils peuvent modifier le modèle ou avoir un simple droit de lecture. Pour que la gestion marche, il faut que l'on définisse un protocole de dépôt et de vérification des éléments. Nous l'aborderons dans la partie de ce mémoire consacrée au BIM Manager.

Le protocole d'échange et de dépôt joue un rôle essentiel car outre la gestion des flux

d'acteurs, des données et la traçabilité, il peut définir la responsabilité de chacun.

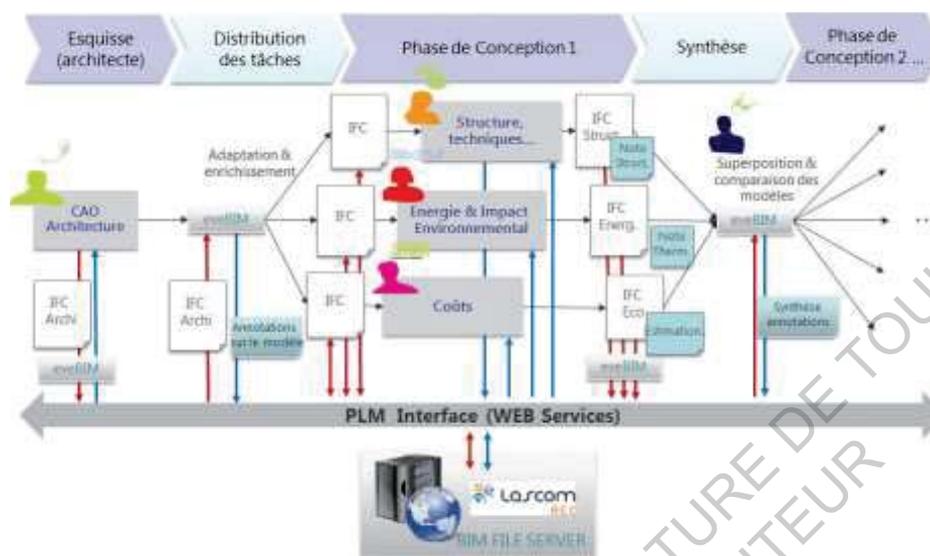


Figure 2.2.12 : Exemple de schéma de principe de BIM Edition modèle et échange sur une plateforme (eveBIM)

Il existe des plateformes collaboratives dites fermées. C'est-à-dire que le système de fonctionnement est fermé et que le fichier du format est uniquement lu par un éditeur. Le BIM est alors fermé. A mon sens, il est important que les plateformes collaboratives restent un lieu de transparence et d'ouverture à différents modes de gestion de projet sinon les systèmes mis en place peuvent se cristalliser pour ne plus évoluer.

Aujourd'hui beaucoup de ces plateformes sont disponibles via le cloud. Cependant, lors de conférences concernant le BIM, j'ai assisté à des témoignages critiques de certains praticiens liés à la difficulté d'utiliser cet outil. En effet, ce n'est pas seulement du à un manque de compétence mais c'est aussi des problèmes de logistique et de moyens comme par exemple le poids des éléments provoqués par l'IFC. On retrouve souvent ce problème dans des projets de grande envergure, les acteurs mettent alors en place une sélection des données pour limiter le poids et/ou il arrive que la maquette soit découpée en différentes parties.

2.3. Niveau d'organisation du BIM

Comme nous l'avons bien souvent remarqué, la mise en place du BIM nécessite une nouvelle organisation de travail et une nouvelle façon de concevoir le projet. Cependant, elle pose la question des conditions de démarrage du projet et surtout la

manière dont on décide de travailler la conception du projet.

La notion de niveau du BIM peut avoir différentes significations. D'une part, on parle niveau BIM en fonction du mode de travail collaboratif employé avec l'utilisation des outils numériques notamment la maquette numérique (niveau 123).

D'autre part on parle de niveau de détail ou LOD (Level Of Detail/Development) qui définit la qualité et la viabilité de l'information que contiennent les objets de la maquette numérique.

2.3.1. Les niveaux de maturité BIM

L'objectif est de produire de manière transitoire dans un processus de travail progressif par rapport à la méthode traditionnelle. Le but étant d'aboutir à un travail collaboratif le plus efficace et riche en partage.

Pour Succar (thèse 2013), le niveau d'évolution du BIM peut se scinder selon trois niveaux. Dans son travail, il met en avant les moyens mis œuvre pour partager les fichiers, ainsi que les finalités des outils. Les niveaux de maturité se déplacent petit à petit de la simple : MODELISATION qui est basée sur des objets → une COLLABORATION basée sur un modèle → une INTEGRATION basée sur le réseau.

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

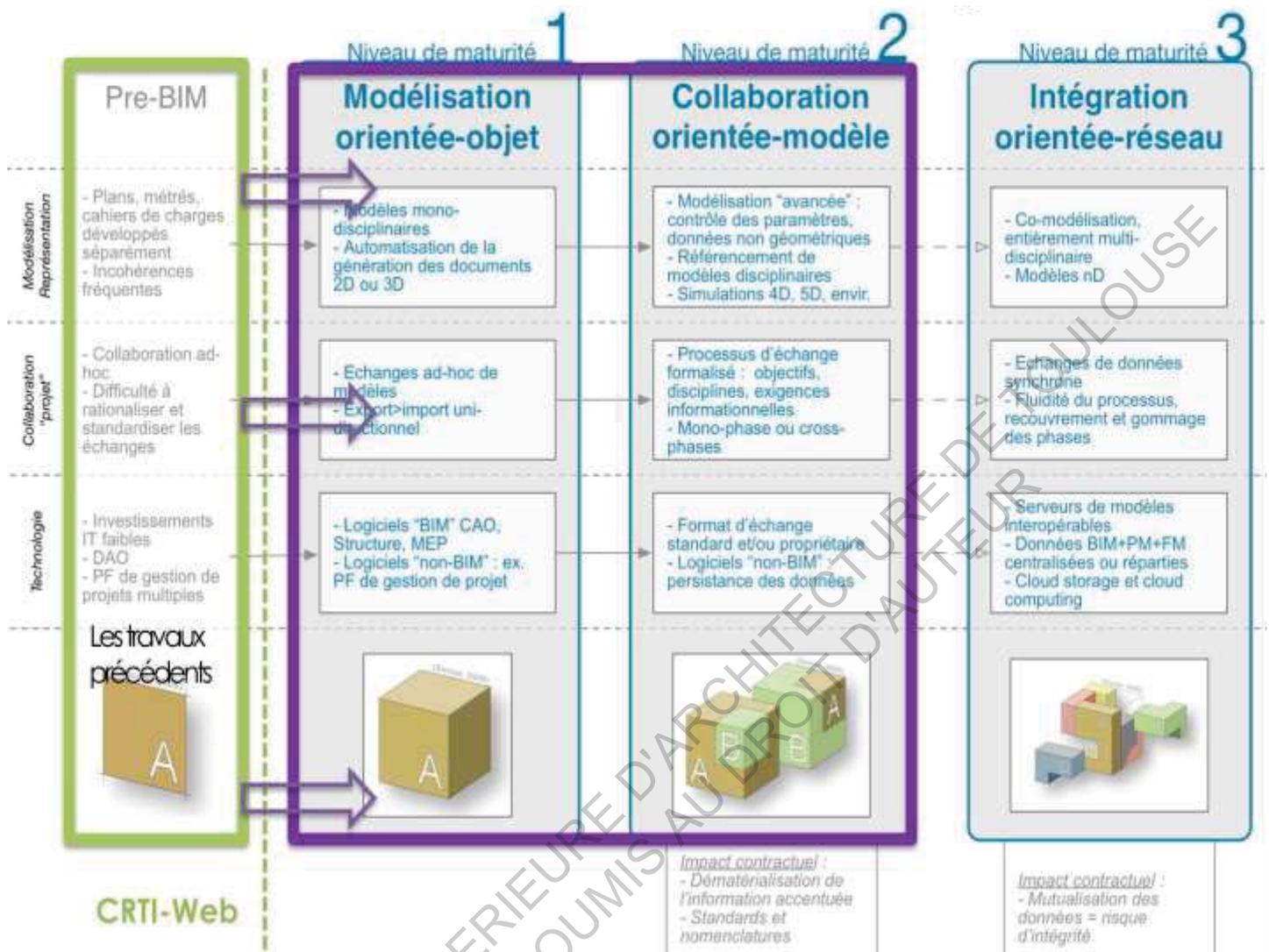


Figure 2.3.1 : Niveaux de maturité des pratiques de modélisation collaborative (Boton et Kubicki,

2014)

Le niveau 0 dit Pré-BIM est la méthode actuelle ou seule la CAO 2D est employée pour produire l'information;

- **BIM Niveau 1** : Il s'agit du niveau le plus répandu, ce niveau comprend un mélange de 3D et de 2D pour le dessin de plans ayant une valeur réglementaire, juridique et de production de l'information. Chacun des acteurs travaille sur ses besoins et produit sa propre maquette. Les informations sont en général éparées et ressaisies.
- **BIM Niveau 2** : Il est considéré comme le premier vrai niveau du BIM car les différents intervenants agissent sur des maquettes numériques. Il s'agit de

regrouper les informations dans un modèle 3D et de fédérer un processus de travail collaboratif. Chaque acteur produit son propre modèle 3D mais ces derniers ne travaillent pas forcément sur une maquette unique et partagée. L'échange de l'information des différents collaborateurs dépend de la manière dont celle-ci est transmise entre les différentes parties. Les informations du projet sont partagées dans un fichier commun, ce qui permet aux acteurs de combiner ces données avec leurs propres données. Par la suite, on met à jour le nouveau modèle BIM. Dans ce niveau, les maquettes nécessitent de pouvoir être exportées dans un même type de format (IFC). Ce niveau sera devenu obligatoire pour tous les projets dans le secteur public en 2017.

- **BIM Niveau 3 :** Le niveau de BIM 3 correspond au niveau considéré comme le plus abouti. Les intervenants collaborent pleinement à travers une maquette numérique unique dont chacun est responsable d'une partie. C'est grâce à des outils tels que la plateforme collaborative que cette mise en commun des données est possible. Ce mode est aussi connu comme " openBIM " (buildingSMART / Mediaconstruct).

| Niveau 0 dessin 2 D | | Niveau 1 : 2D, 2.5D voir 3D | | Niveau 2 : Maquette numérique (MN) | | Niveau 3 : Maquette numérique (MN) | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 0a | 0b | 1a | 1b | 2a | 2b | 3a | 3b |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Plans papier | Plans DAO | Plans DAO 2D Plans 2.5D | 3D isolé (souvent archi uniquement) | Echange de MN dans une seule direction | Echange bidirectionnel non intégré | Partage de MN sur serveur local ou distant Ingénierie intégrée | Plateforme CLOUD = Product Lifecycle Management |
| Travail isolé | | | | Travail collaboratif | | | |

Figure 2.3.2 : Les différentes formes de partage de l'information (Source : Objectif BIM)

2.3.2. Niveau de représentation et d'information du modèle

Afin de permettre d'organiser les informations en fonction des besoins des acteurs et des phases du projet, on définit un niveau de représentation et d'information de la maquette numérique.

C'est ce que Celnik et Leberge appellent le degré de développement des modèles BIM (DDD). Ce modèle d'ordre de l'information a été repris de l'institut américain des

Architectes : Levels of Development (LOD) pour être réadapté dans le cadre de la loi MOP qui définit les phases réglementaires d'un projet (figure 2.3.3).

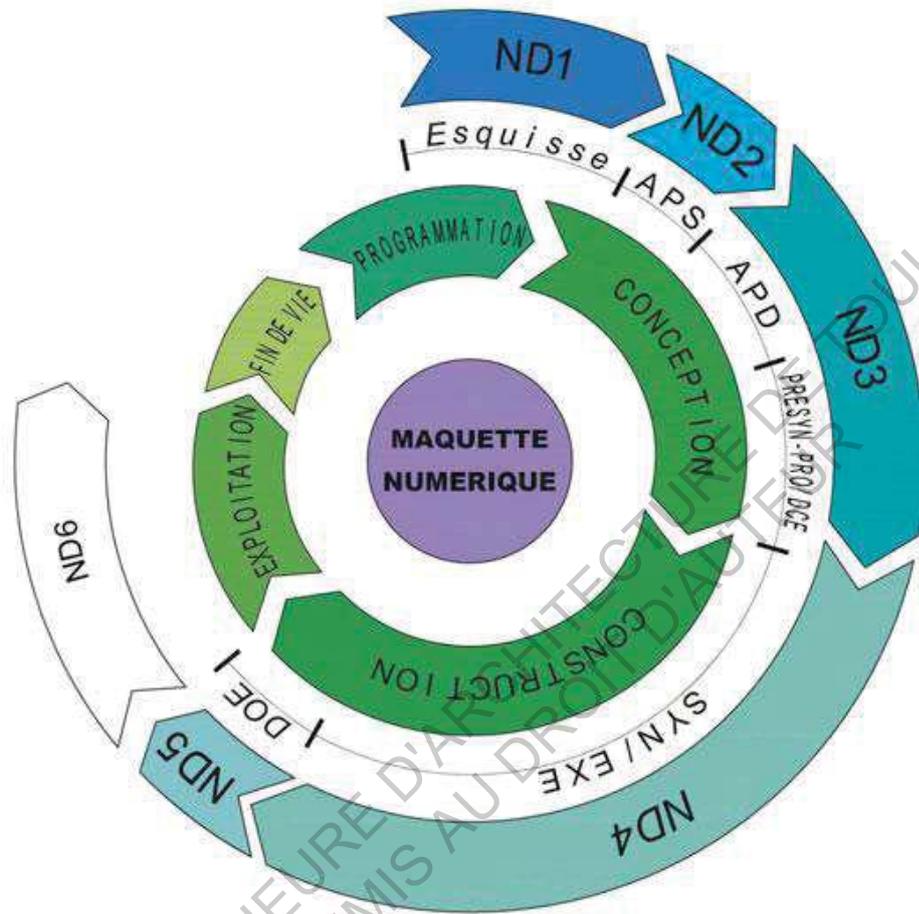
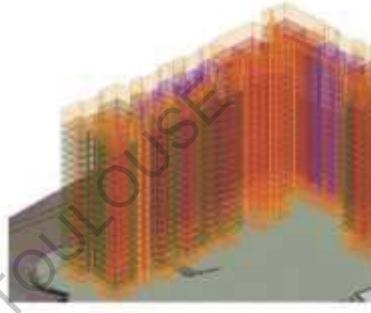
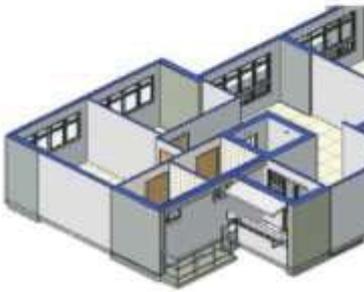
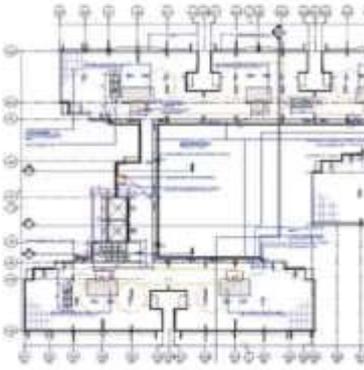
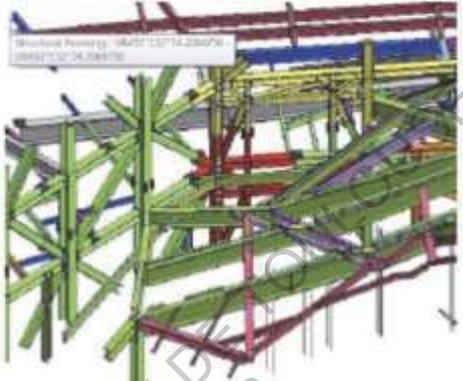
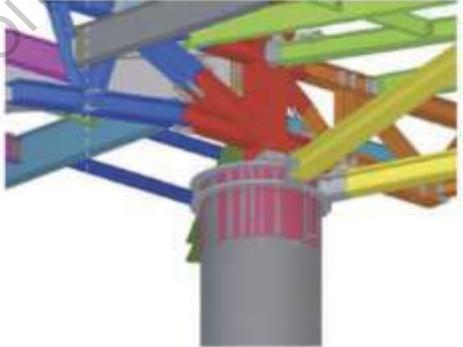


Figure 2.3.3 : Adéquation des DDD de la maquette numérique avec les phases du projet, Syntec-Ingénierie

Le DDD est une étape essentielle qui a pour rôle d'identifier et de définir préalablement dans une convention l'organisation du projet BIM. Il assure la qualité et la fiabilité de l'information dans un livrable BIM (Figure 2.3.4).

| Phases projet - Étapes jalons | Échelle de dessin 2D | Livrables BIM | |
|--|----------------------------|--|--|
| | | Niveau de détail de chaque élément / assemblage | Exemples |
| Esquisse - Permis de construire - Faisabilité | 1 : 200 à 1 : 1 000 | Étude de volumétrie ou de données sous une autre forme avec des propriétés telles que dimensions, surface, volume, localisation et orientation exprimées d'une manière indicative. |  Modèle BIM de volumétrie |
| APS / APD - Approbation du planning - Documents d'appel d'offre Conception - Réalisation | 1 : 200 | Composant ou système du modèle BIM avec dimensions, forme, localisation, orientation et quantités approximatives. Des propriétés non géométriques peuvent être renseignées. |  Modèle BIM - phase APS |
| Projet détaillé - Approbation du professionnel - Poursuite de la rédaction des documents de l'appel d'offre conception - réalisation, ou - Documents d'appel d'offre classique | 1 : 100 | Version plus détaillée de composants ou systèmes du modèle BIM avec dimensions, forme, localisation, orientation et quantités non géométriques doivent être renseignées. |  Section détaillée du modèle BIM  Plan détaillé généré à partir du modèle |

| Phases projet - Étapes jalon | Échelle de dessin 2D | Livrables BIM | |
|--|----------------------------|---|--|
| | | Niveau de détail de chaque élément / assemblage | Exemples |
| Construction - Constructibilité - Fabrication | 1 : 5 à 1 : 100 | Les éléments du modèle BIM sont modélisés avec les détails complets de fabrication et d'assemblage, en plus de la phase projet détaillé, là où c'est applicable ou utile pour la construction. Autrement, les détails peuvent être représentés sous forme de fichiers de dessin 2D pour compléter le niveau de détail et la phase projet détaillée. |  <ul style="list-style-type: none"> - Ossature métallique par un sous-traitant - Géométrie et dimension spécifiques - Connexions par soudage - Possibilité de générer les plans d'EXE - En mesure de spécifier la fabrication - En mesure de spécifier les détails d'assemblages |
| Tel que construit / récollement - Certificat légal d'achèvement / permis d'occupation temporaire - Achèvement final Conception - Réalisation | 1 : 100 | Le niveau de détail des éléments BIM est similaire à celui de la phase PRO mis à jour avec les changements intervenus pendant la construction. |  <p>Comparaison d'un modèle de structure tel que construit (au-dessus) avec l'état actuel sur site (au-dessous)</p>  |

| Phases projet - Étapes jalon | Échelle de dessin 2D | Livrables BIM | |
|--|----------------------------|--|---|
| | | Niveau de détail de chaque élément / assemblage | Exemples |
| Gestion des installations techniques - Exploitation et maintenance | 1 : 50 | Les éléments du modèle BIM sont modélisés tels qu'ils sont construits. Le modèle est une représentation de l'état d'achèvement actuel du bâtiment. |  <p>Exemple d'un élément BIM « réservoir de stockage d'eau » auquel des spécifications au format PDF ont été attachées.</p> |

Figure 2.3.4 : Définition des livrables par phase du projet et par échelle (Source : Singapore BIM guide)

2.4. La mission de synthèse : le BIM manager

La coordination d'un projet en BIM et notamment la production progressive de maquette numérique centrale nécessite la mise place d'une équipe BIM de travail qui s'organise et est gérée par un BIM manager.

Actuellement, la gestion d'un projet à base de plans 2D et de notices réalisées par les différents intervenants sont coordonnées et gérées par un chef de projet qui pilote la production des données. Il assure la synthèse entre les différents intervenants, les outils et la méthode.

Cependant, la mise en place d'un processus BIM dans lequel est intégrée la maquette numérique nécessite des moyens d'encadrement adaptés. En effet, la méthode de travail suppose de définir le niveau d'interaction des acteurs et donc d'établir un niveau de maturité du BIM. Selon la méthode, on peut croiser et synchroniser les compétences de chacun et la production de leurs données. Nous parlerons des avantages et inconvénients de ces méthodes dans un chapitre ultérieur.

En plus de proposer une méthode de travail adaptée au projet, le BIM manager doit posséder des compétences dans le bâtiment : de la gestion à la maîtrise des logiciels, des plateformes et serveurs du BIM.

Dans le « Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM » mis en place par Mediaconstruct, on peut identifier la structure des responsables BIM (Figure 2.4.1).

Ces entités peuvent être à la fois une ou un groupe de personnes selon la dimension du projet. Ces derniers peuvent être mandatés pour assister la MOA, MOE et les entreprises.

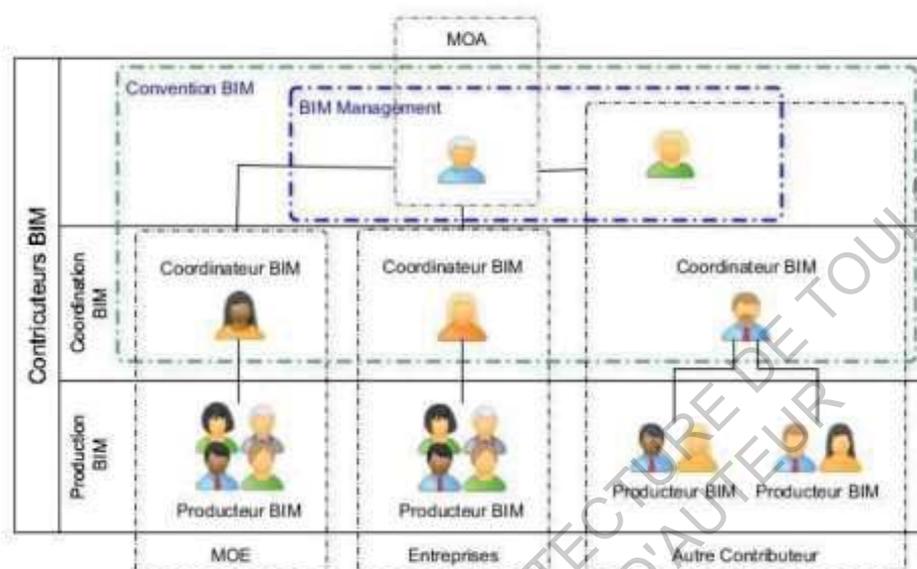


Figure 2.4.1 : Schéma d'organisation des acteurs BIM dans la convention BIM (Mediaconstruct

Page 22 / 50

On peut distinguer différents rôles attribués dans l'organisation des acteurs du BIM :

- BIM Management : Il a pour rôle de piloter et d'élaborer la convention BIM du projet avec la participation des différents intervenants.

Il définit la stratégie du management BIM et les objectifs à atteindre. Il établit également les éléments contractuels. En fonction du niveau de maturité du projet, il identifie et nomme les gestionnaires et coordinateurs BIM. Il met en place les outils et les interfaces utilisés. Il délimite le champ d'intervention des producteurs et contributeurs BIM (droit, accès et traçabilité par l'archivage) ;

- Contributeurs BIM : intervenants prenant place à la production ou à la coordination du projet en dehors de la maîtrise d'ouvrage et des entreprises. Par exemple, fabricants ou fournisseurs ;

- Coordinateurs BIM : Ils sont chargés du pilotage et de la gestion, du contrôle selon la convention qu'ils définissent avec le BIM manager préalablement. Ils sont responsables des contributeurs BIM ;

- Producteurs BIM : Leur rôle est d'assurer la production des données par la modélisation des composants 3D. Ils font le lien avec les plans 2D nécessaires au projet.

Ce travail de Mediaconstruct peut être mis en relation avec la typologie de mission BIM que met en place Bonneau. Celui-ci hiérarchise le rôle des acteurs en fonction de leur compétence et expérience du BIM en quatre catégories :

- les administrateurs de projet → les coordinateurs BIM ;
- les projeteurs modeleurs → les producteurs BIM ;
- les responsables des annotations et des détails ;
- les employés non spécialisés.

Pour Celnik, la responsabilité de la mission de gestion BIM peut être différente selon la situation : selon la dimension du projet, le BIM manager peut être une entité indépendante au projet (exemple : OPC) ou une fonction tenue par l'un des acteurs du projet.

Dans le premier cas, la direction du BIM n'est pas assurée directement par l'architecte. Celui-ci n'a qu'une fonction de coordinateur BIM. On se rapproche alors du modèle anglo-saxon (Figure 2.4.2). L'avantage d'extérioriser ces compétences est de libérer les concepteurs des contraintes supplémentaires induites par la gestion informatique et managériale du BIM. Même si ces derniers participent au regard et à l'établissement de la synthèse, ils pourront consacrer plus de temps à l'élaboration du projet.

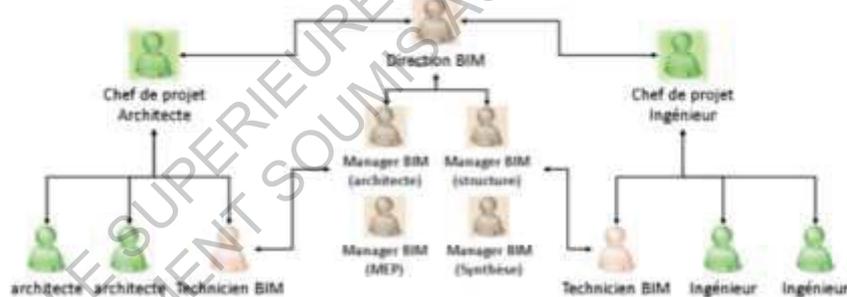


Figure 2.4.2 : Schéma d'organisation des acteurs BIM avec une entité indépendante du management BIM (Mémoire de BERTRAND Quentin tiré de l'Extrait de la revue « AeroBim » n°1, Avril 2014)

Dans le second cas, la direction du BIM peut être assurée directement par l'architecte ou un acteur interne au projet comme le chef de projet. Pour des projets de petite à moyenne dimension, il sera plus facile pour l'architecte de garder la coordination du BIM. Qui plus est, le fait de missionner un interlocuteur en moins représente des économies pour l'agence et centralise les compétences à celle-ci.

3. L'exploitation du BIM dans un projet

3.1. Méthodes de travail actuelles

3.1.1. La loi MOP et les phases de réalisation du projet

La loi MOP n°85-704 du 12 juillet 1985 est la procédure qui règlemente le processus de réalisation d'un projet. On distingue trois familles principales : la conception, la construction et l'exploitation. Nous pouvons ajouter deux étapes qui conditionnent le cycle de vie du bâtiment (Figure 3.1.1).



Figure 3.1.1 : Les phases d'un projet de construction (Stéphane MOR, thèse 2015)

Selon la loi MOP, on peut distinguer la décomposition suivante en phase de conception et de construction :

| ETAPE | SOUS ETAPE |
|---|---|
| Faisabilité du projet architectural et autorisation | <ul style="list-style-type: none"> • Etudes d'esquisse – ESQ • Etudes d'avant-projet – AVP <ul style="list-style-type: none"> ○ Avant-projet sommaire – APS ○ Avant-projet définitif – APD ○ Dossier de demande de Permis de Construire – DPC |
| Conception détaillée du bâtiment | <ul style="list-style-type: none"> • Etudes de projet – PRO |
| Planification de la construction | <ul style="list-style-type: none"> • Dossier de consultation des entreprises – DCE • Etudes et plans d'exécution – EXE |

| | |
|--|--|
| Sélection des entreprises de la construction | <ul style="list-style-type: none"> Assistance aux contrats de travaux – ACT |
| Le chantier | <ul style="list-style-type: none"> Direction de l'exécution des travaux – DET La gestion du chantier Ordonnancement, coordination et pilotage du chantier – OPC |
| Livraison du bâtiment au maître d'ouvrage | <ul style="list-style-type: none"> Assistance aux opérations de réception – AOR Dossier des Ouvrages Exécutés – DOE |

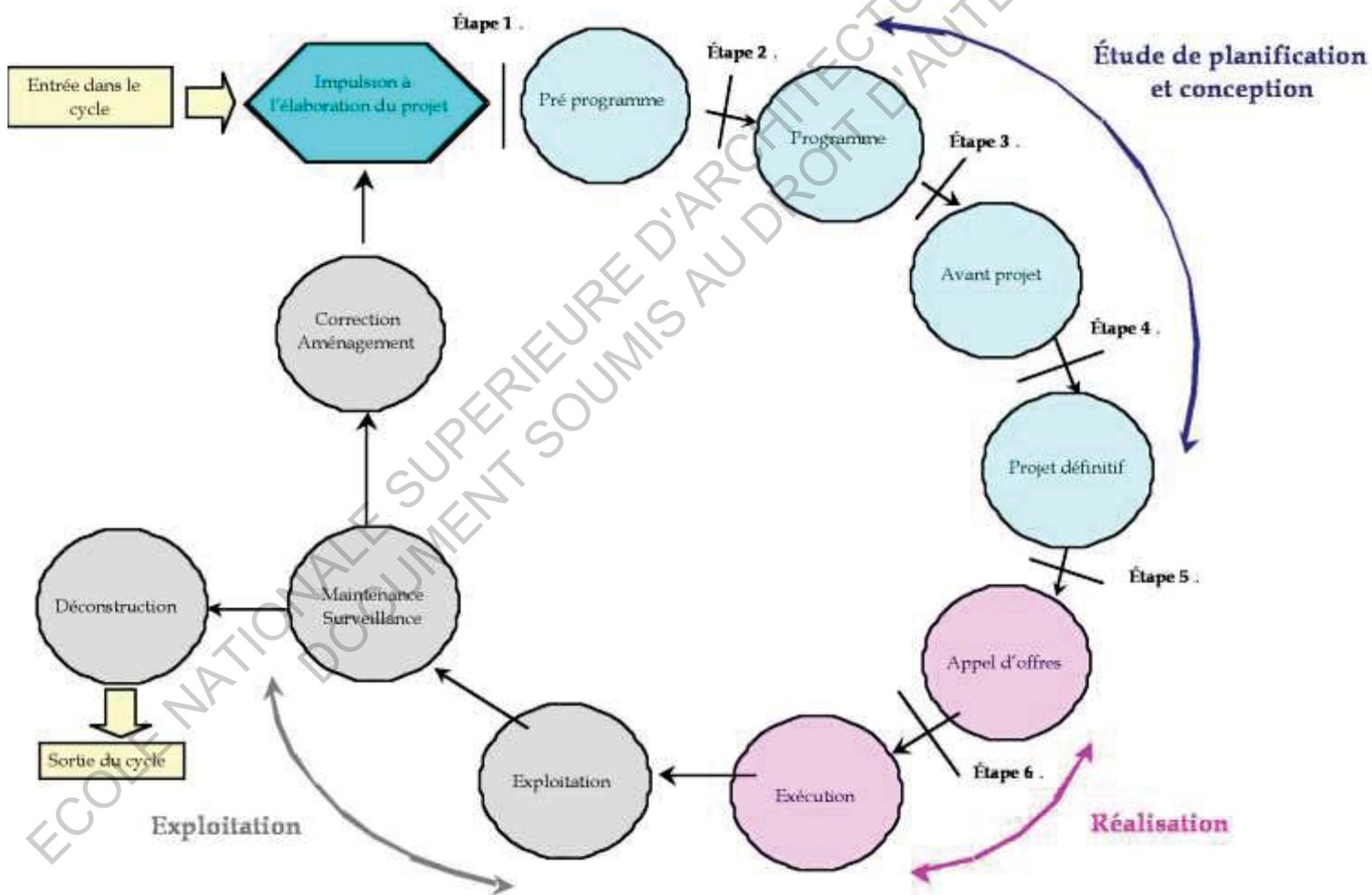


Figure 3.1.2 : Sous-étapes du processus du cycle d'un ouvrage (Source N.D)

Ci-dessous la définition de chaque étape :

ETUDE DE PLANIFICATION ET CONCEPTION

- Etudes d'esquisse – ESQ

Cette étape permet de s'assurer de la validité d'un projet en fonction du site, du budget alloué et du planning de réalisation. L'architecte et le maître d'ouvrage travaillent en collaboration afin de développer une idée et de réaliser les premières esquisses. Une première estimation sommaire du coût est établie.

Dès lors on peut exploiter de nombreux logiciels et bases de données afin d'établir une analyse de site et du projet tel que par exemple : ensoleillement, programme de surface, étude topographique, aménagement du territoire, réglementation, ... Une production des éléments est engagée sommairement épardant le maître d'ouvrage n'est pas encore engagé avec le maître d'ouvrage.

- Etudes d'avant-projet – AVP

Lorsque que l'architecte est satisfait de l'étude d'esquisse, on passe au développement de l'étude et on formalise les éléments. L'offre des services de l'architecte devient contractuelle. On qualifie la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre et on définit les missions.

o Avant-projet sommaire – APS

Dans cette étape, il s'agit de développer et d'affiner la phase ESQ. Beaucoup plus de données sont produites. On affine et précise les choix de l'étude du projet comme la description des différentes options et l'estimation du coût et de la durée des travaux. Des équipes de conception se réunissent avec l'intégration de nouveaux acteurs comme les économistes, les bureaux d'études de structures, de fluides et réseaux... Des documents graphiques, descriptifs et estimatifs et d'analyses sont produits.

o Avant-projet définitif – APD

Il s'agit de parfaire l'étude de conception et de finaliser définitivement les caractéristiques du projet. Les différentes données sont assemblées.

On intègre et confirme les principes et les solutions architecturales, paysagers et techniques. Le programme et ses surfaces, les documents graphiques, descriptifs et estimatifs et le coût prévisionnel par lot sont arrêtés. On fait la coordination et la synthèse des documents et des plans.

o Dossier de demande de Permis de Construire – DPC

Au-delà de l'APD, l'ensemble des documents administratifs et juridiques : pièces écrites, plans et l'attestation de prise en compte des réglementations sont soumis à l'administration compétente pour la validation du permis de construire.

- Etudes de projet – PRO

La phase PRO a pour rôle de détailler et préciser le niveau des plans, la nature et les caractéristiques des matériaux et les conditions de leur mise en œuvre. Cette phase demande une bonne compréhension de l'ensemble du projet jusque dans les moindres détails afin de réussir l'intégration totale de l'ensemble des éléments du projet en vue de sa réussite.

Cette phase fixe le coût prévisionnel de la réalisation de l'ouvrage par lot et le délai global de réalisation de l'ouvrage. On peut également estimer les coûts d'exploitation de l'ouvrage.

- Dossier de consultation des entreprises – DCE - Etudes et plans d'exécution – EXE

La maîtrise d'œuvre met à disposition un dossier de consultation des entreprises. Celui-ci décrit l'ensemble des caractéristiques techniques et administratives du projet de chaque lot.

Il s'agit d'établir les plans d'exécution détaillés en vue de la fabrication et de la construction sur le chantier. On met en place les plannings de l'exécution des travaux, la quantité et le prix détaillé.

C'est le moment où l'on fait la synthèse pour vérifier la cohérence technique des documents fournis par les différentes entreprises dans le cas où l'exécution des ouvrages est effectuée par la maîtrise d'œuvre.

Lorsque les études d'exécution sont réalisées par les entreprises, on délivre son visa.

- Assistance aux contrats de travaux – ACT

L'architecte assiste la maîtrise d'œuvre pour la sélection des entreprises et prépare les documents contractuels.

- Direction de l'exécution des travaux – DET

Il s'agit d'assurer l'exécution conforme aux travaux des entreprises le contrat

- La gestion du chantier - Ordonnancement, coordination et pilotage du chantier – OPC

On planifie et veille à l'imbrication optimale des différents intervenants par la gestion d'un planning de chantier.

- Assistance aux opérations de réception – AOR – DOE

La MOE contrôle que l'ensemble des travaux est effectué. C'est la réception finale du bâtiment et la passation des responsabilités. Il remet par la suite le dossier des ouvrages exécutés: c'est en quelque sorte le livrable contenant l'ensemble des données souhaitées par la maîtrise d'ouvrage.

3.1.2. Les types d'appels d'offres

Nous nous intéressons maintenant aux différents types d'appels d'offres pour comprendre le fonctionnement et les interactions entre les différentes phases et acteurs qui sont impliqués dans un projet. Nous essayerons de voir en quoi les pratiques du BIM modifient et améliorent ces processus.

Selon le type de consultations choisies, la production de données et la responsabilité sont centralisées dans un cas pour la MOE dans un autre cas pour l'entreprise générale.

Les appels d'offres classiques

La maîtrise d'ouvrage (MOA) désigne un maître d'œuvre (MOE) pour la conception du projet. Une fois que celle-ci est réalisée, les entreprises sont sélectionnées par le MOA et/ou MOE pour la réalisation de l'ouvrage.

Comme nous pouvons le voir sur le schéma de nombreuses itérations sont réalisées afin d'aboutir aux plans finaux.

Ces itérations sont essentiellement dues à l'interaction entre la MOE et les entreprises consultées. En effet, l'architecte doit adapter et aboutir si besoin la conception en considérant les choix constructifs de l'entreprise (dans le but d'améliorer le planning ou le coût global).

Il existe deux types de consultations :

- Consultation en lots séparés :

L'architecte consulte autant d'entreprises qu'il y a de lots et sera responsable du suivi de ces différentes entreprises.

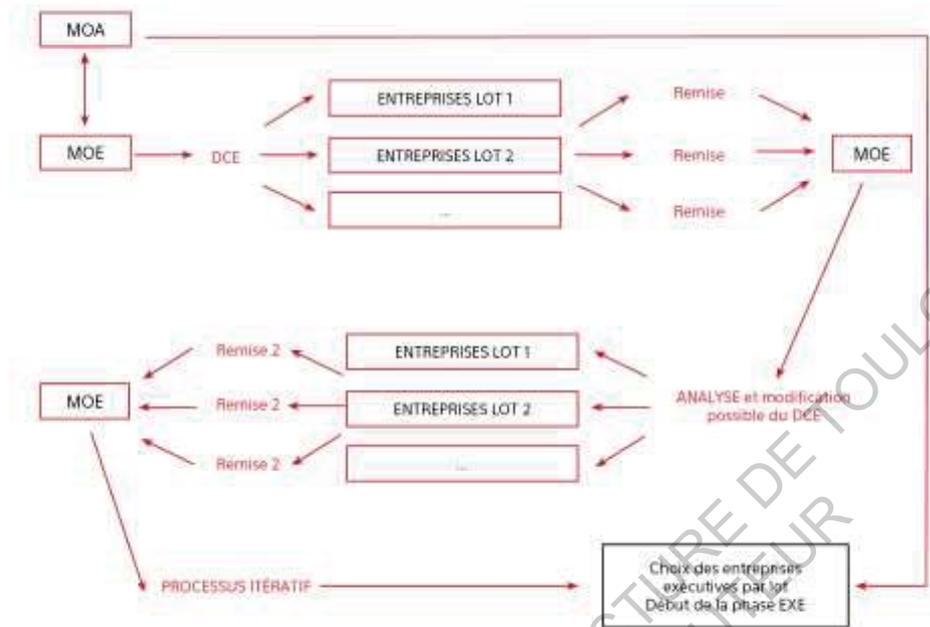


Figure 3.1.2 : Processus d'un appel d'offre conventionnel en entreprises séparées

Dans un appel d'offre classique, la MOE transmet le DCE aux différentes entreprises. Ces dernières procèdent à l'analyse de ce DCE et remettent une offre avec des propositions d'optimisations techniques et structurelles (ex: remplacement de typologie de fondation). La MOE analyse l'offre et vérifie la conformité. Si la proposition de projet n'est pas réalisable dans le budget et/ou le temps donné, elle propose des négociations avec les entreprises et peut être amenée à modifier le DCE en proposant de nouvelles variantes du projet. Chaque entreprise indépendamment chiffre à nouveau ces variantes demandées et peut en proposer des nouvelles. Le processus d'interaction et d'échange de données est renouvelé jusqu'à ce que le projet soit validé et l'entreprise exécutive par lot soit sélectionnée. Nous sommes dans une procédure séquentielle et divisée qui conduit à une gestion de projet importante car il faut traiter avec chaque entreprise en amont du projet. Ce cas de figure est souvent présent dans des projets de petite à moyenne envergure selon les capacités de gestion de la MOE.

- Consultation en entreprise générale :

Dans ce cas l'architecte consulte uniquement une entreprise générale qui sera responsable de l'ensemble des lots du marché aussi bien financièrement que sur l'engagement du planning.

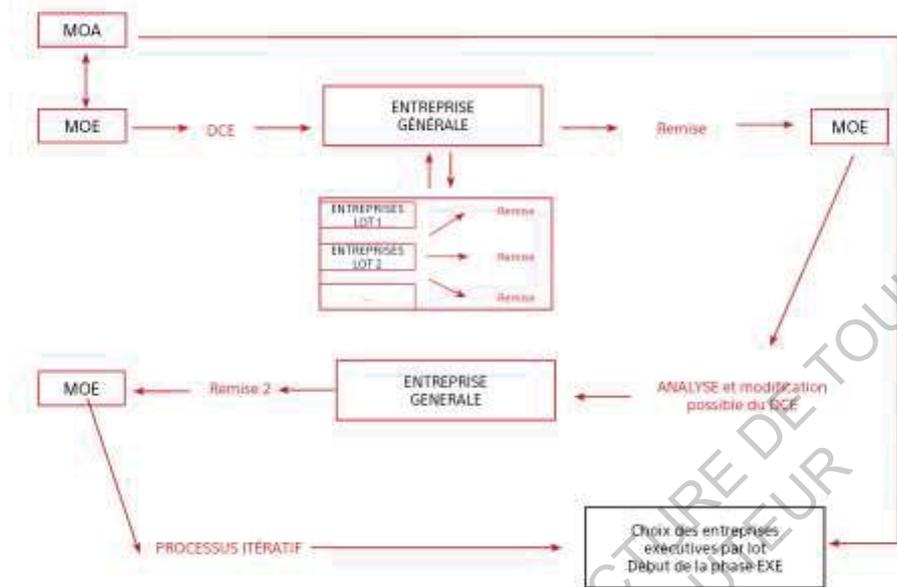


Figure 3.1.3 : Processus d'un appel d'offre conventionnel en entreprise générale

Dans ce cas, c'est l'offre de l'entreprise générale qui regroupera les offres de tous les lots et prendra ainsi la responsabilité de la réalisation de tous les corps d'état. C'est elle qui séquencera et diffusera toutes les données aux entités associées afin de produire une remise globale sur le projet. Le processus est le même que précédemment, la seule différence est que la MOE aura un seul interlocuteur unique. Même si la MOE analyse la proposition globale de l'offre, les compétences de synthèse sont déplacées à l'entreprise générale.

Le coût global d'un projet en entreprise générale peut-être un peu plus important qu'en lot séparé. Cependant, le fait d'engager un interlocuteur unique pour la MOE garantit un planning et un prix maximum qui ne seront jamais dépassés en phase chantier.

Les appels d'offres en conception réalisation

La loi MOP, décret conception-réalisation stipule : « Le maître d'ouvrage peut confier par contrat à un groupement de personnes de droit privé ou, pour les seuls ouvrages d'infrastructures, à une personne de droit privé une mission portant à la fois sur l'établissement des études et l'exécution des travaux, lorsque des motifs d'ordre technique rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage. »

Dans une conception-réalisation, la MOA consulte un groupement constitué de l'architecte et de l'entreprise générale mandatée et des bureaux d'études. L'objectif de

cette démarche est de faire une conception en adéquation complète avec les modes constructifs qui seront mis en place en phase chantier. Ce procédé est souvent utilisé pour les projets complexes.

En phase conception le projet est beaucoup plus avancé et fiabilisé que dans le cas d'un appel d'offre classique. En effet les différents partenaires travaillent de façon concurrente afin de se diriger vers un objectif commun.

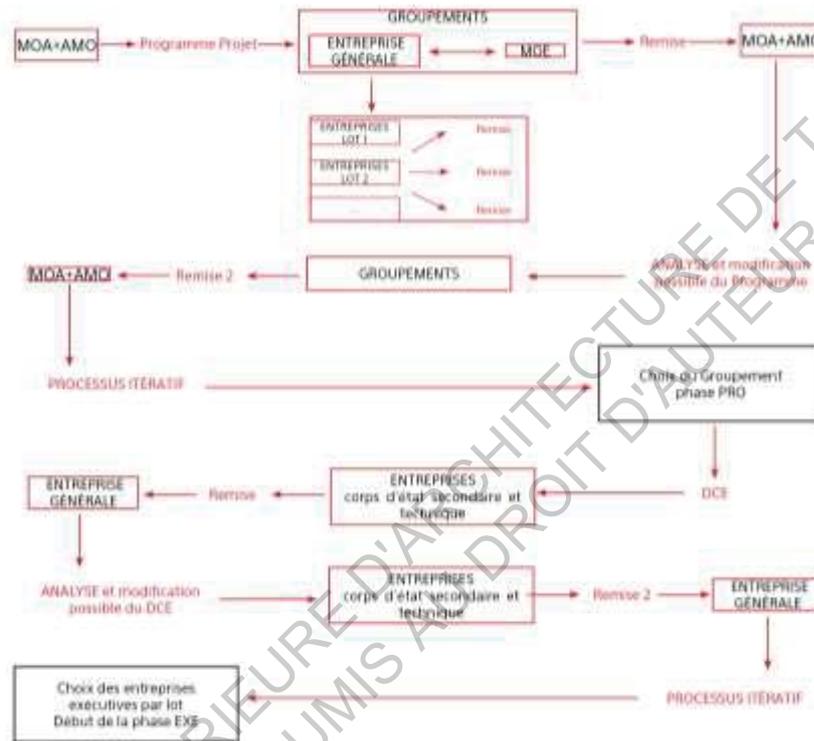


Figure 3.1.4 : Processus d'un appel d'offre conventionnel en conception réalisation

3.2. Méthodes de travail avec le BIM

Plusieurs cas de figures sont possibles dans l'organisation des acteurs selon la nature du projet : dimension, complexité, attente et/ou volonté stratégique de niveau d'interaction des intervenants. On peut avoir plusieurs acteurs qui assurent la gestion et l'organisation du BIM.

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre consacré au BIM manager, afin de pouvoir gérer la mise en place du processus BIM, il est nécessaire de poser les conditions de réalisation dans les différentes étapes de l'ouvrage et du projet. Ainsi, il convient de lister ces étapes et structurer les différents acteurs, et le processus BIM. Chaque phase doit faire l'objet d'un traitement particulier de la maquette et notamment le niveau des données nécessaires à chaque étape et acteur. Christophe Castaing de Mediaconstruct parle de tamisage et de granulométrie de l'information. La question de la gestion, des

interactions et de la synthèse est essentielle.

Nous allons expliquer comment le BIM s'intègre dans les différentes phases du projet et les éléments à mettre en place.

Dans un premier temps, nous nous intéresserons à la convention d'exécution du BIM.

Nous analyserons les conséquences des choix du parti pris de cette convention : la démarche qu'elle conditionne et les résultats qu'elle produit dans un second temps.

3.2.1. La convention BIM

Selon la définition du Larousse, une convention est un « accord passé entre des personnes, des groupes, des sujets de droit international (États, organisations), destiné à produire des effets juridiques et qui revêt en principe un caractère obligatoire pour ceux qui y adhèrent ; écrit destiné à formaliser la réalité de cet accord : des conventions internationales sur la pêche ».

La convention, dans le cadre du BIM, est un document validé par tous les participants dans lequel on définit les objectifs à atteindre sur un projet. Chaque projet possèdera sa propre convention basée sur une trame commune.

On peut imaginer deux formes de productions de la convention. Tout comme nous l'avons identifié dans la partie BIM manager, la rédaction d'une convention peut s'aborder de différentes manières suivant le contexte :

→ La formation du BIM manager et son équipe est une entité indépendante souvent associée à la maîtrise d'ouvrage pour l'assister

→ La formation du BIM manager et son équipe est associée directement à la maîtrise d'œuvre

Dans le premier cas, les attentes sont définies en amont de l'appel à concours. Les équipes de maîtrise d'œuvre s'organisent en interne afin de répondre directement au cahier des charges de la convention en vue du concours. Dans ce cas de figure, l'équipe BIM Management qui assiste la maîtrise d'ouvrage établit une convention de principe pour aller vers un affinage qui va évoluer au fur et à mesure de l'avancement et du candidat sélectionné. Ce cas de figure permet de ne pas trop limiter le nombre de candidats possibles et d'avoir une certaine souplesse dans la mise en place du BIM. Son manque de contrainte peut néanmoins affaiblir la productivité de la méthodologie de travail et faire dériver les niveaux de maturité de BIM souhaités au départ pour s'adapter au contexte des concepteurs.

Dans le second cas, l'ensemble des équipes peuvent dialoguer directement avec la maîtrise d'ouvrage pour proposer une convention BIM qui définit un niveau d'attente clairement énoncé. On pourrait appeler cela un appel d'offre BIM. Le niveau d'attente d'un projet en BIM peut être énoncé d'un côté par la maîtrise d'ouvrage mais également par la maîtrise d'œuvre qui propose ses services au fur et mesure des besoins du maître d'ouvrage.

Dans les deux cas de figure, on s'aperçoit que les objectifs BIM fixés en amont ou en aval vont sans doute évoluer comme on le ferait dans un projet conventionnel.

Afin d'aider les acteurs du BIM à définir une méthodologie BIM pertinente, Mediaconstruct a mis en place une convention type. Cette convention s'organise autour des axes suivants :

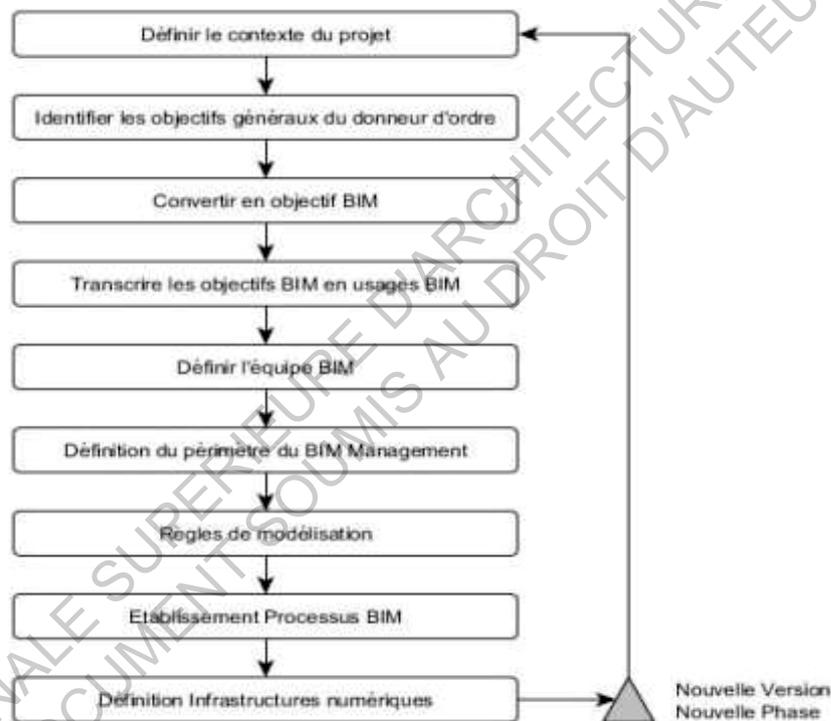


Figure 3.2.1 : Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM (2016)

Il s'agit pour le groupe de travail BIM de définir sous le contrôle du BIM manager une convention sur laquelle tous les membres s'engagent. La mise en place d'une convention peut sans doute être amenée à se modifier au grès de la maturité du projet.

La définition du contexte du projet

Si l'on suit le processus des étapes de la convention BIM, il est primordial de définir dans

un premier temps le contexte général du projet. Celui-ci va nous permettre de cerner les objectifs vers lesquels le projet va s'orienter. En effet, les attentes, la complexité du projet (technique, architecturale, ...) va favoriser une méthode de travail plutôt qu'une autre. Dans un projet complexe, on aura plutôt tendance à favoriser une équipe BIM expérimentée qui travaillera à un niveau avancé (BIM3). De plus, la définition des attentes BIM peut induire un type d'appel d'offre comme à l'inverse l'écriture de cette convention peut orienter le type de convention à mettre en place (Lots séparés - Entreprise générale - Conception réalisation)

La définition du contexte du projet a pour rôle de présenter le projet, son état actuel. On y définit dans un premier temps le cadre dans lequel la convention est amenée à se faire et à évoluer. C'est-à-dire la mise en place d'un protocole BIM. Il s'agit de définir les modalités d'élaboration de la convention BIM et de prévoir les moments de la mise à jour de cette dernière. La convention peut être mise à jour dans trois cas :

- Évolution du projet comme modifications du programme, intervention de nouveaux acteurs ou encore nouveau besoin dans les objectifs BIM
- Selon le cycle du projet : les phases conceptions, construction...
- Selon l'analyse objective des capacités de production du BIM des acteurs (appel d'offre, niveau d'intervention des acteurs) → ce choix peut déterminer un niveau de souplesse du niveau de BIM.

La définition du contexte comprend également une partie informant de la localisation du projet dans sa dimension spatiale et géographique, donnant les points de repère des données de l'ouvrage en vue de son accessibilité.

Cela permet aux usagers d'avoir accès aux informations relatives à la localisation du site du projet: c'est une étape importante dans la suite du travail pour le partage des informations, notamment lorsque l'on souhaite synchroniser le modèle numérique correctement, que ce soit par exemple le niveau des hauteurs NGF, la situation d'ensoleillement... Les données utilisées sont souvent issues des systèmes d'informations géographiques (SI).

Ensuite on met en place une grille d'identité des principaux intervenants qui adhèrent et peuvent être amenés à participer au processus d'élaboration de la convention. Ils permettront d'évaluer leur niveau de contribution au processus BIM.

| Entité | Nom de l'entité | Contribution BIM |
|--------|-----------------|------------------|
| AMO | | |
| AOE | | |

| | | |
|--------------|--|--|
| Entreprise 1 | | |
| Entreprise 2 | | |
| ... | | |

Identification des objectifs BIM

Les objectifs peuvent être fixés d'une part à partir des besoins définis par la maîtrise d'œuvre et l'assistance ; d'autre part, ils peuvent être complétés par les intervenants.

Cette étape a pour rôle de définir les attentes du projet BIM, déterminer le niveau des informations du modèle numérique selon les cycles.

C'est une étape importante qui nécessite au BIM manager d'être un expert dans le BIM dans ses possibilités et évolutions. L'expertise du BIM manager doit permettre d'analyser et de vérifier la capacité de chaque intervenant à appliquer la théorie (organisation et méthode interne à chaque entité, outils).

On définit les informations nécessaires pour exploiter le modèle. Une fois les objectifs BIM identifiés, on les hiérarchise et les ordonne selon leur niveau de priorité et la phase.

Identification des usages BIM

Dans cette étape, il s'agit de définir les usages qui permettent d'établir factuellement la mise en œuvre de la maquette numérique, les interactions des acteurs et les échanges des données associées. Elles permettent de montrer les actions à prévoir pour réaliser les objectifs BIM définis.

Une fois les usages identifiés, on met en place un tableau d'information de ces usages : les objectifs auxquels ils sont rattachés, le contributeur, la phase d'intervention, les compétences nécessaires et outils... On y décrit les données d'entrées et celles qui sont attendues, produites. C'est-à-dire la mise en place du processus de réalisation de ces usages.

Afin de vérifier la faisabilité des objectifs, le BIM manager évalue la solidité et la valeur des usages BIM engagés. Cette évaluation se fait selon la valeur de l'intervention des contributeurs dans la maquette numérique lors des usages du BIM défini précédemment et la valeur BIM que l'usage peut apporter à la maquette numérique.

Ainsi, cette étape permet de prendre position pour atteindre l'objectif défini. Il s'agit d'évaluer la valeur de la maquette numérique et la valeur des contributeurs BIM pour répondre à cet objectif.

Une fois les usages et objectifs retenus, on inscrit dans la convention un planning d'organisation en listant les différents usages selon les phases du projet plus ou moins détaillées selon chaque projet. Chaque usage est décrit dans une liste définitive avec sa description.

Définition de l'équipe BIM

Comme nous l'avons évoqué dans la partie mission de synthèse: BIM manager, la définition de l'équipe BIM est mise en place par le BIM manager. Son organisation dépend du choix de la structure de management BIM (entité indépendante au projet ou rôle tenu par l'un des acteurs du projet).

Si le choix de la structure de management n'est pas encore défini, cette partie de la convention permet d'aider à définir ce dernier.

Dans un premier temps, le BIM manager identifie le rôle de chaque membre de l'équipe BIM : les coordinateurs, les producteurs ou autre entités contributrices. Ensuite, on effectue la répartition des tâches entre les membres de l'équipe BIM (l'équipe BIM comprend l'ensemble des intervenants BIM qui adhèrent à la convention). Participent-ils à cette tâche ou la réalisent-ils ? Elle permet de délimiter les tâches et peut, entre autre, donner suite à une responsabilité des acteurs.

Afin de bien cibler le management BIM, le BIM manager évalue le niveau de contribution BIM des acteurs présents lors de la rédaction de la convention. Il n'a pas de valeur de sélection lors de la phase consultation mais permet de mettre en place des procédures d'adaptation, de mise à niveau (comme mise en place d'accompagnement, formation, méthodologie pour les acteurs) afin d'atteindre le niveau de maturité BIM souhaité.

Selon l'usage de BIM retenu dans la convention, le système d'évaluation plus ou moins adapté prend connaissance des outils, matériels, logiciels et systèmes collaboratifs utilisés par les participants du projet. Le BIM manager et les corps d'équipes BIM mettrons en place et échangerons sur la méthodologie générale. Les différents contributeurs pourront mettre en place des méthodologies BIM internes et être assistés par le BIM manager. Ainsi, il s'agira de définir le niveau des contributeurs selon leurs compétences. On peut prendre à nouveau l'exemple du travail de Bonneau (voir tableau compétences et expérience dans mise en œuvre) et déterminer l'environnement BIM dans lequel ils travaillent.

Ce travail d'analyse pourra se compléter progressivement dans un processus de production de la convention de façon générale et s'affiner. La définition du niveau de maturité va permettre d'établir le périmètre d'action du BIM manager et des équipes qui sera clairement énoncé dans cette convention.

Règles de modélisation

Afin de permettre l'échange, le traitement des données et organiser l'interopérabilité, la convention BIM doit faire apparaître la codification et l'identification des informations. Il

s'agit de mettre en place les règles comme le rangement et le nommage des informations. Elles permettront ainsi de faciliter la coopération. Cette codification est mise en place pour les documents comme les pièces écrites.

Ce travail d'organisation des données est aussi présent dans le partage de la maquette numérique. Afin de limiter d'une part le poids important des informations et aussi assurer une efficacité dans les échanges, il faut anticiper dans la convention le découpage du ou des modèles numériques nécessaires. Ces derniers peuvent être mis en place pour chaque acteur en identifiant les disciplines qui travaillent ensemble lors de la conception par exemple, ou encore découpés par phasage pour la construction. La convention fera apparaître les formats d'échanges ainsi que l'unité de mesure, la position du ou des modèles numériques et sera également normée selon le système de référence défini par le BIM manager.

Cette partie de la convention est aussi faite pour mettre en place le niveau de DDD que nous avons défini dans le chapitre précédent : niveau de représentation et d'information du modèle.

On qualifiera ce niveau selon les phases détaillées de chaque étape de projet : ESQ, APS, APD... en prenant soin de décrire les attentes graphiques et géométriques, l'information des données et des attributs.

Certaines sources de données de la maquette numérique peuvent être liées ou extraites d'une base de données externe. Dans ce cas, dans un souci de préservation de ces données, de collaboration et de traçage, on indiquera ces relations pour éviter toute perte : liens dynamiques d'import et d'export

Processus BIM

Lors de la mise en place de la convention, le BIM manager choisira un environnement collaboratif BIM correspondant au mieux aux besoins exprimés. Cet environnement aura pour rôle de mettre en place une organisation collaborative comme l'échange des données BIM, le statut des acteurs pour leur donner les droits d'accès et/ou de lecture et les mises à jour entre les interfaces.

L'environnement BIM peut être mis en place à l'aide de différents types d'outils de collaboration selon la méthode choisie comme le serveur, le cloud, les plateformes collaboratives.

Ensuite, il s'agit d'identifier et de mettre en place les différents espaces de l'environnement comme par exemple dans ce cas :

- Un espace de travail : l'accès est limité à un contributeur, producteur BIM représenté par le coordinateur. Ce dossier peut servir d'outil interne dans le travail de l'équipe et sera l'unique interface de données échangées par le BIM

manager afin que celui-ci valide ou fasse ses remarques

- Un espace de partage : après validation des données du modèle par le BIM manager, on publie ces dernières dans le dossier de partage afin que les autres intervenants puissent les récupérer pour les exploiter
- Un espace d'archivage : garantit la traçabilité des documents au fur et à mesure de l'avancement du projet. Il pourra constituer une valeur juridique par la suite

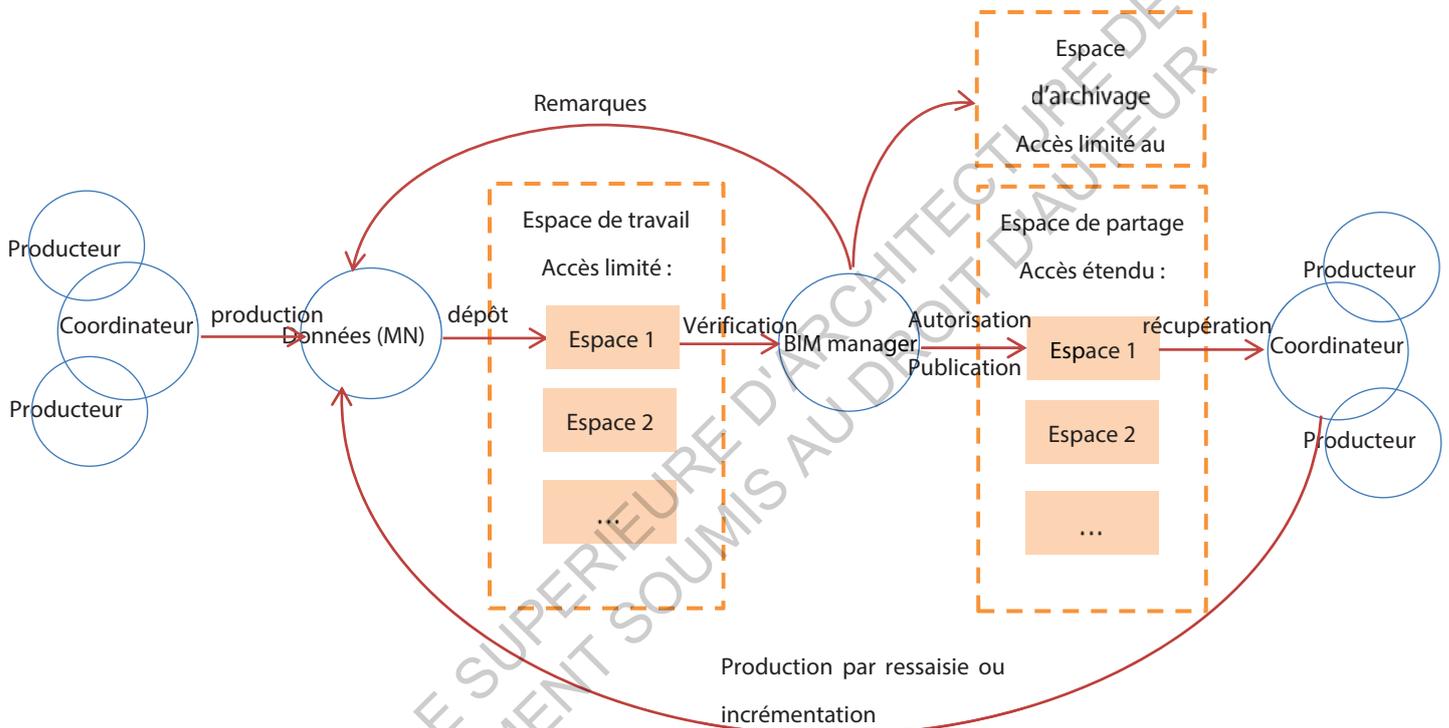


Figure 3.2.2 : Exemple de processus collaboratif d'autorisation pour publication

Pour chaque usage du BIM identifié, un tableau des besoins des données à produire sera mis en place. On y indiquera le processus d'échange en y inscrivant les données d'entrées et de sortie dont chaque contributeur aura besoin dans le modèle par exemple.

Comme on a pu le voir dans l'exemple précédent, le BIM manager assure une mission de contrôle de la qualité et de la diffusion des données entre les acteurs. Il veille ainsi au respect de la charte BIM sur accord de l'équipe, la mission de contrôle est définie dans la convention et peut être répartie entre les différents interlocuteurs.

Figure 10 : Exemple de contrôles BIM

| Contrôles | Définition | Responsable |
|--|--|--|
| Contrôle visuel | Vérifier la concordance du modèle avec le projet | BIM Management |
| Contrôle géographique | Vérifier le positionnement géo-référencé du projet | Coordination BIM |
| Contrôle d'interférence | Détecter des incohérences physiques et logiques entre 2 éléments des modèles de projet | BIM Management Coordination BIM Production BIM |
| Contrôle de niveau de détail et d'information | Vérifier que les attributs des objets respectent bien le niveau de développement convenu pour la phase considérée | BIM Management |
| Contrôles des modèles | Vérifier l'adéquation des modèles géométriques, alpha numériques et analytiques vis à vis des objectifs définis dans les cas d'usages. | Coordination BIM |
| Contrôle des standards graphiques | Vérifier des standards graphiques CAD | Coordination BIM |
| Contrôle des processus | Vérifier que les processus des cas d'usage sont suivis. | BIM Management |
| Contrôle des notes et observations | Vérifier les processus de prise en compte des notes | BIM Management Coordination BIM |
| Contrôle des livrables | Vérifier la liste des livrables avec ceux attendus. | Coordination BIM |
| Contrôle la qualification des codes et nomenclatures | Vérifier le respect des classifications retenues pour le projet ou par les usages BIM. | Coordination BIM |
| Contrôle de l'environnement BIM | Vérifier le bon fonctionnement du serveur ou de la plateforme comme défini par la convention | BIM Management |

Figure 3.2.3 : Répartition du contrôle BIM « Mediaconstruct »

L'ensemble donnera lieu à un planning de planification du processus et rendra compte par l'intermédiaire du livrable des éléments BIM attendus de chaque contributeur. Cette liste établie dans le processus BIM pourra engager ces derniers dans l'usage BIM de production de ces livrables.

Infrastructures numériques

Dernier point dans l'axe structurant de la convention BIM, il s'agit d'y énoncer la partie logistique et technique. Le BIM manager recense et inscrit l'ensemble du parc matériel et logiciel. Il y indique les formats d'échanges autorisés sans déterminisme d'un type de format unique afin d'adapter et de permettre l'intégration des acteurs après concertation. Pour finir, selon la méthodologie BIM définie, on indique le type d'infrastructure d'échange des données (plateforme collaborative...).

3.2.2. BIM décathlon

Afin d'illustrer un exemple de mise en place du BIM, nous allons présenter une opération BIM réalisée dans le cadre du concours BIM décathlon dont l'objectif était de promouvoir la pratique du travail collaboratif par l'expérimentation du BIM avec des étudiants provenant de divers secteurs du bâtiment.

Nous présenterons ce projet en relation en s'appuyant sur la démarche générale de rédaction d'une convention BIM soumise par Mediaconstruct. Cet exemple ne fait en aucun cas figure de modèle d'exécution d'un projet BIM. Il est plus l'œuvre d'une expérimentation et d'une initiative d'application du BIM.

Nous avons analysé et défini des objectifs BIM en corrélation avec les attentes du projet.

Identification du contexte du projet

a) Présentation du projet

Objet: Il s'agit de réaliser et modéliser un scénario de réhabilitation « d'un ensemble de bâtiments des années 1957 de l'OPAC 38: 40 logements. Les performances attendues par le Maître d'ouvrage reposent sur dix critères :

1. Qualité architecturale de la rénovation
2. Faisabilité économique
3. Qualité technique et du design industriel
4. Qualité environnementale
5. Progrès de la performance énergétique
6. Caractère interopérable des supports numériques
7. Qualité esthétique du rendu
8. Qualité des lots techniques
9. Qualité des supports documentaires générés
10. Diversité des usages de la maquette numérique

b) Avancement du projet

Planning

Mandat de la convention (en fonction du niveau attendu des capacités et dans quelle partie du projet)

Etat d'avancement du projet en cours: état des lieux

Relevé du site par nuage de points

Plan des niveaux actuels (dwg)

Photos

Dans le cas présent nous disposons de 48h pour remettre un livrable comprenant : une proposition de scénario de projet en phase APS sous la forme d'une maquette

numérique et une présentation de la démarche du projet

c) Localisation du projet

Projet : « LaMonta », 2/4/6/8 avenue Médecin Général Viallet, Saint-Egrève
Informations cadastrales : données cadastre.gouv.fr
Règles d'urbanisme : voir PLU, PPRI de la commune
Aux coordonnées géographiques : Lambert 93
Point de référence : Latitude : Longitude : Altitude :

d) Entités intervenantes

Dans notre cas, le processus implique :

AMO : l'OPAC 38

Un BIM superviseur : Bernard FERIES

Une équipe BIM : Manssour ALI, Zulema TANCA LOPEZ, Yasmine BEN ABDALLAH,
Thibault POUCH

Contribution : éditeurs de logiciels, conseillers en charge d'affaires, thermiciens

Identification des objectifs BIM

On recense ci-dessous les informations nécessaires pour exploiter le modèle :

- Modéliser l'ouvrage plus précisément pour le gestionnaire et en vue d'améliorer sa qualité, réduire l'impact environnemental et les coûts d'exploitation
- Etablir un diagnostic des consommations
- Estimer le coût engendré
- Améliorer la performance énergétique de l'ouvrage
- Améliorer l'efficacité de la conception
- Limiter les erreurs dans la ressaisie d'informations
- Recherche de formes

PHASAGE du BIM

- Pour la conception :

Analyse du site : échelle urbaine

Données thermiques : bilan de consommations

Impact de l'ensoleillement

Estimation des coûts

Etude de variantes et impact

- Pour la réalisation :

Choix des produits : qualité architecturale, coût, niveau de l'impact énergétique et performance

Données de mise en œuvre : préfabrication

- Pour l'exploitation :

Données techniques des systèmes des appareils techniques

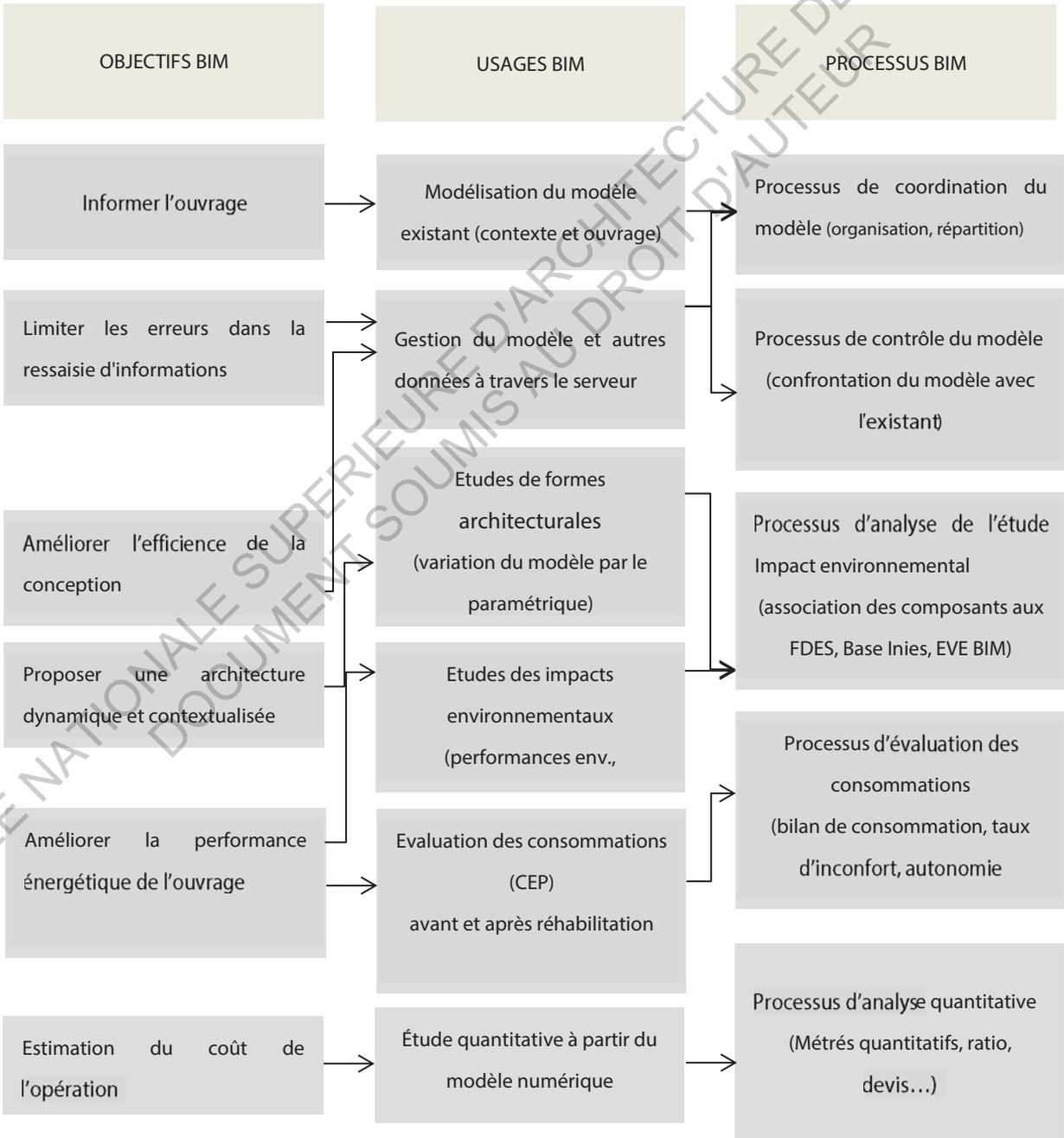
Coût d'exploitation et consommation du bâtiment : chauffage, énergie produite

- Communiquer et visualiser le projet

Maîtrise du coût

Pour l'exploitation : informations nécessaires pour l'exploitation

Identification des usages BIM



a) Chronologie des usages du BIM

Une fois les usages et objectifs retenus, on met en place un planning selon les phases du projet, plus ou moins détaillées selon chaque projet.

Exemple dans le cas du BIM décathlon

| Etat des lieux | Conception | Construction |
|---------------------------------|--|--------------|
| Modélisation du modèle existant | | |
| Gestion du modèle | | |
| | Etudes des impacts environnementaux | |
| | Evaluation des consommations (CEP) | |
| | Étude quantitative à partir du modèle numérique | |
| | Etudes de formes architecturales (variation du modèle par le paramétrique) et modélisation de proposition architecturale | |

b) Liste des usages BIM

Il s'agit de lister les usages BIM validés et de leur donner une description

| N° | Intitulé | Description (rend compte succinctement du processus, ses particularités et ses objectifs) |
|----|----------------------------|--|
| 01 | Modélisation de l'existant | <p>Il s'agit de modéliser la maquette numérique par l'acquisition progressive des données et de leur traitement.</p> <p>Les données intégrées sont définies par les types suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modelage des géométries par les relevés dwg fournis par la maîtrise d'œuvre - Renseignements par l'étude <p>Pour ce qui est du site :</p> <p>On établit un processus à partir des outils BIM et SIG (Système d'Information Géographique) pour évaluer les impacts de l'environnement des ouvrages.</p> <p>Ce processus a pour objectif de positionner le bâtiment dans son environnement et d'étudier son impact</p> |
| 02 | Gestion du modèle | <p>Il s'agit d'établir le processus de gestion et de production de la maquette numérique selon les objectifs définis. Le modèle est coordonné selon la méthode de travail mise en place entre les différents intervenants. Par la suite, il s'agit d'imbriquer les informations produites par intervenant afin de réaliser la synthèse</p> |

| | | |
|----|-----------------------------------|---|
| | | <p>de la maquette numérique.</p> <p>Un processus de contrôle du modèle est établi afin de vérifier la cohérence du modèle numérique produit à partir du relevé de l'état des lieux en plan dwg avec le relevé de l'existant issu d'un scan de nuage de points.</p> |
| 03 | Etude de l'impact environnemental | <p>Processus dans lequel on soumet la maquette numérique pour rendre compte des impacts environnementaux des matériaux et produits de la construction utilisés pour le projet, et obtenir une analyse du cycle de vie de l'ouvrage.</p> <p>A l'aide des logiciels eveBIM et ELODIE et la base de données INIES on met en place une analyse de cycle sur un bâtiment pour lequel on dispose de la maquette numérique en format IFC.</p> <p>A partir du viewer eveBIM, on peut visualiser et coupler les IFC issus de la maquette numérique avec la base de données INIES et on associe les FDES des éléments construction (http://www.unit.eu/cours/bim/u13/res/69.png)</p> <p>La base INIES est une base de données d'analyse de cycle de vie, dédiée aux matériaux et produits de construction. C'est la base française de référence des Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires (FDES) qui recensent pour un ensemble de matériaux et produits de construction donné, sur le cycle de vie, les matières, énergie, eaux consommées et émissions dans l'eau, l'air ou les sols. Les résultats sont présentés sous forme d'indicateurs environnementaux.</p> |
| 04 | Evaluation des consommations | <p>A partir de l'outil ArchiWIZARD, on soumet la maquette numérique produite de l'état des lieux pour évaluer les performances énergétiques de l'ouvrage, entre autres le respect de la réglementation thermique, la consommation ou la luminosité. Pour la partie conception, il s'agit de produire des simulations qui permettent d'identifier les conséquences de conception sur ces dernières. Au fur et à mesure de l'évolution de la conception (modification de la morphologie de l'ouvrage, de la nature des matériaux et techniques employées...) l'étude analytique de ces données permettra de faire des choix économiques et bioclimatiques directement à partir de cette maquette numérique.</p> |
| 05 | Étude quantitative | <p>Processus dans lequel on extrait à partir de la maquette numérique une estimation des quantités des éléments. Ces quantités permettront d'établir un coût estimatif des matériaux et produits utilisés. L'extraction des données prend la forme de bases de données organisées dans un tableau avec nomenclatures, structurées par catégories d'objets. Ces données s'appuient sur les jeux de propriétés, les attributs, la composition.</p> <p>Il s'agit donc de définir les valeurs nécessaires à l'objet de l'étude du projet (ces valeurs vont être spécifiques pour chaque projet), on retrouve dans notre cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surfaces de plancher |

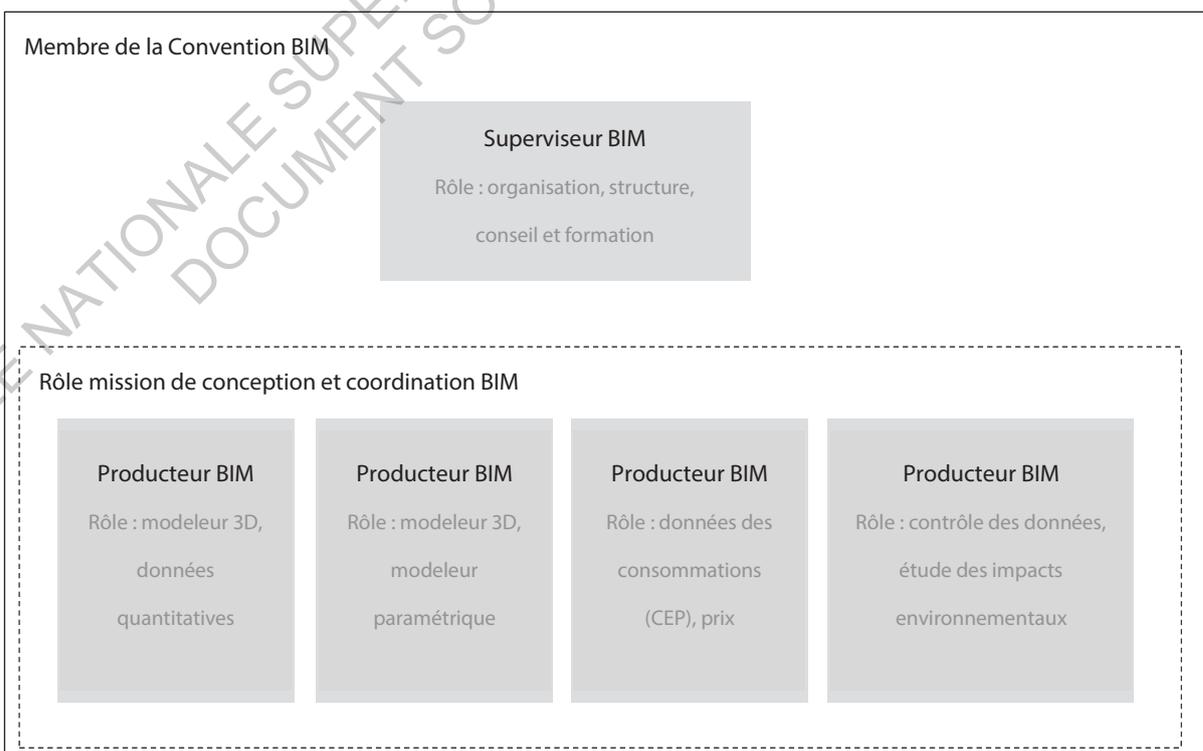
| | | |
|----|----------------------------------|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Surfaces développées façades • Surfaces développées de menuiseries extérieures • Surfaces de couverture et toiture • Programme : nombre de logements : pièces, volumes et surfaces <p>Cette base donnée nous permet de les importer dans des logiciels métiers spécifiques aux métrés et à l'analyse du cycle de vie de l'ouvrage.</p> |
| 06 | Etudes de formes architecturales | <p>Il s'agit de mettre en place des objets paramétriques de production du modèle numérique. La production de ces objets permettra une modification automatique du modèle numérique en fonction des paramètres définis. Ils auront pour rôle d'aider l'équipe de conception dans sa démarche de recherche et d'étude des formes architecturales proposés. Les critères du paramétrage de ces objets s'appuieront sur des critères techniques résultant de l'étude des différents usages du BIM et de la réflexion sur la dimension architecturale.</p> |

Equipe BIM

a) Membres de l'équipe et rôles respectifs

Bernard Ferries, superviseur BIM, a encadré une équipe de 4 contributeurs BIM, étudiants de l'ENSA TOULOUSE. Dans le cas du BIM décathlon, il avait pour rôle d'assurer la mission de conseil et de formation auprès de chaque contributeur BIM.

La mission de coordination de la maquette numérique fut assurée par les producteurs directement.



b) Répartition des tâches de l'équipe et processus

Avant de mettre en place la répartition des tâches, nous avons réalisé un tableau de compétences afin d'évaluer notre aptitude à répondre aux usages BIM.

| COMPETENCE d'utilisation des outils | | | |
|---|---|--|---|
| <i>Producteur BIM</i> <i>Mansour ALI</i> | <i>Producteur BIM</i> <i>Thibault</i> <i>POUCH</i> | <i>Producteur BIM</i> <i>Zulema TANCA</i> <i>LOPEZ</i> | <i>Producteur BIM</i> <i>Yasmine BEN</i> <i>ABDALLAH</i> |
| <i>Archicad</i> <i>Sketch up</i> <i>Photoshop</i> <i>Artlantis</i> <i>Rhinoceros</i> <i>Archiwizard</i> <i>Plugin Archicad</i> <i>pour AWZ</i> <i>EveBIM-Elodie</i> <i>Excel ou Calc de</i> <i>LibreOffice</i> <i>Indesign</i> | <i>Archicad</i> <i>Sketch up</i> <i>Rhinoceros</i> <i>Archiwizard</i> <i>Plugin Archicad</i> <i>pour AWZ</i> <i>EveBIM-Elodie</i> <i>Excel ou Calc de</i> <i>LibreOffice</i> <i>Illustrator</i> <i>Indesign</i> <i>AutoCad</i> | <i>Revit</i> <i>Sketch up</i> <i>Artlantis</i> <i>Rhinoceros</i> <i>Grasshopper</i> <i>Archiwizard</i> <i>Plugin Revit</i> <i>pour AWZ</i> <i>EveBIM-Elodie</i> <i>Excel ou Calc</i> <i>de LibreOffice</i> | <i>Archicad</i> <i>Sketch up</i> <i>Photoshop</i> <i>Plugin Archicad</i> <i>pour AWZ</i> <i>Word / Excel ou</i> <i>Calc de</i> <i>LibreOffice</i> <i>Rhinoceros</i> <i>Grasshopper</i> <i>EveBIM-Elodie</i> <i>Excel ou Calc de</i> <i>LibreOffice</i> <i>Illustrator</i> <i>Indesign</i> <i>AutoCad</i> |

Une fois la mesure des compétences effectuée, nous avons pu établir la répartition des tâches. Il faut savoir que lors de l'anticipation en amont du concours, des objectifs et des usages ont permis de mettre en place un processus de formation pour des logiciels tels que Archiwizard, EveBIM-Elodie, Rhinoceros, Grasshopper...

Contenu du temps très restreint du concours (25h), nous avons essayé dès le début du projet de faire en sorte que la répartition des tâches ne se fasse pas de manière séquentielle mais en parallèle, l'objectif étant d'éviter qu'une personne soit dans l'attente du travail d'une autre pour pouvoir commencer. En mettant en place un travail

de déphasage des tâches nous avons optimisé le temps.

Environnement : nous avons travaillé à l'aide d'un serveur dans lequel nous partageons les informations. Chacune des tâches disposait d'un dossier contenant les informations et une partie privée de documents de travail. Lors des synthèses nous mettions les principaux éléments que nous avons convenu de rendre, le livrable en quelque sorte.

Au total ce sont **12 logiciels** : Archicad Archiwizard Artlantis Eve BIM+Elodie Excel Grasshopper InRoads Prezi Recap Revit Rhinocéros SketchUp et 5 **formats d'échange** : DWG, FBX, IFC, SKP, STL que nous avons utilisés. Lorsque les formats des éditeurs ne pouvaient pas échanger entre eux nous passions par les IFC lorsque c'était possible.

Selon le niveau des logiciels nous avons dû ressaisir certaines données de la maquette numérique, mais au fur et mesure les éditeurs de logiciels développent des versions de plus en plus efficaces. Un des éléments que je retiens de cette expérience est l'intérêt et le potentiel énorme du travail synchronisé. Dans le cas du logiciel Archiwizard, un plugin permettait de synchroniser la maquette numérique produite sur Archicad. Ce dernier n'a pu être utilisé dans le concours suite à des problèmes d'installation, mais si nous avions pu utiliser ces méthodes de travail, la production aurait été très rentable. La synchronisation des données aurait permis de mettre à jour progressivement les variantes du projet en lien direct avec la maquette centralisée et les différents logiciels d'étude, d'où l'importance de la méthodologie d'organisation et la gestion des données, ainsi qu'en une attente des logiciels à devenir interopérables.

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

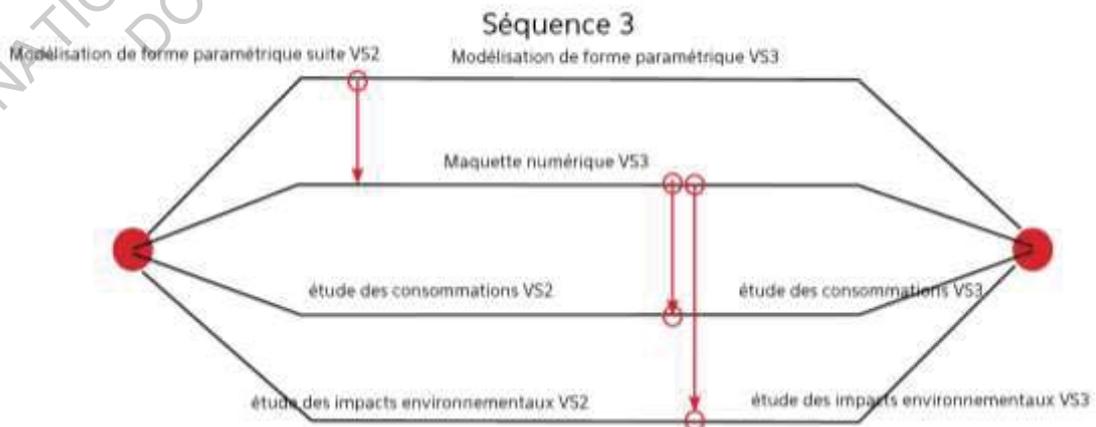
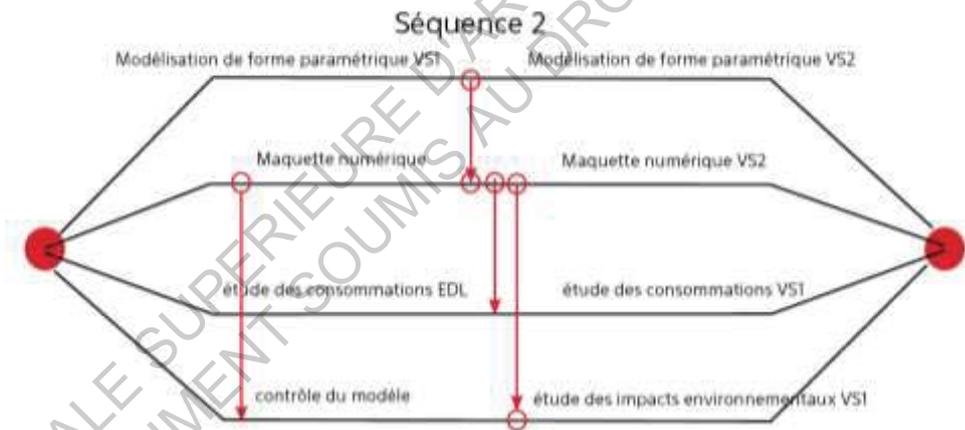
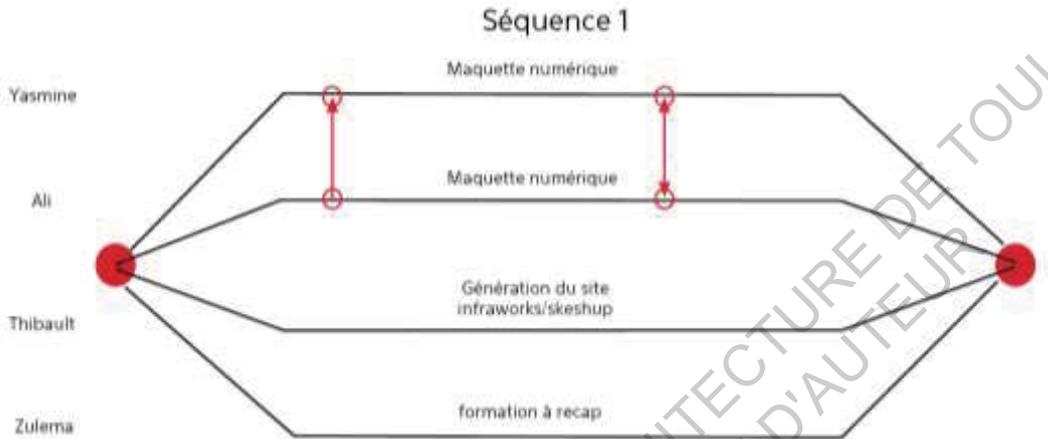
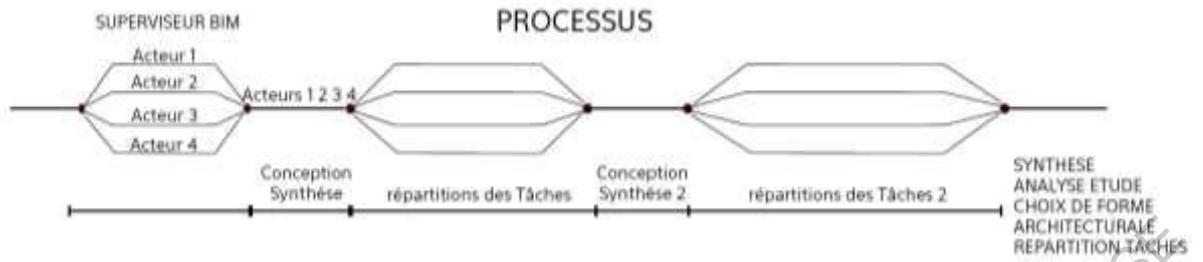


Figure 3.2.4 : Processus de collaboration du BIM Décathlon

L'emploi systématique d'outils à travers la maquette numérique permet de faire des simulations et une analyse toujours plus complète avec une possibilité infinie de trouver des alternatives. Cette approche est rendue possible aujourd'hui par le développement des nouveaux outils que sont le BIM et les outils de simulations numériques.

3.3. Les applications du BIM : conséquences et problématiques

3.3.1. Les dimensions du BIM

Le pouvoir du BIM réside dans sa capacité à pouvoir imbriquer, soustraire les éléments de données à travers son langage commun, qui définissent la raison d'être des IFC. Aujourd'hui même si le BIM n'est pas encore capable d'inclure toutes les données d'un projet, d'autres outils peuvent extraire certaines données afin d'y réaliser une tâche particulière.

Ce potentiel se caractérise autour des « dimensions » dans lesquelles les informations sont traitées :

- La 2D renvoie au dessin graphique à deux dimensions comme les plans
- La 3D pour la visualisation de la maquette en trois dimensions
- La 4D ajoute la notion de temps : planning, phases et séquences de construction ou encore fabrication en temps réel
- La 5D comprend en plus la notion économique, pouvant aller de l'estimation du coût à la réalisation des appels d'offres
- La 6D tourne autour de la notion de durabilité en introduisant l'impact sur le cycle de vie des bâtiments et la gestion énergétique
- La 7D traite des questions de sécurité et de gestion des risques dans le bâtiment

L'idée des dimensions est de révéler les capacités les champs d'applications de la maquette.

Le BIM permet d'améliorer les connexions entre les interlocuteurs. Les nouveaux outils et l'interopérabilité facilitent les échanges en favorisant l'interaction par la centralisation du travail et la convergence des savoirs de chacun. Dans le document suivant, on observe une adéquation entre l'exigence du livrable en termes de dimension et le niveau de maturité du BIM choisi.

Phases BIM | version condensée 1.1
 2ème dimension de la Structure BIM
 Préparé par Bilal Saccar, Novembre 2007
 © ChangeGents AEC, tous droits réservés
 Traduit par Patrick Riedo, Novembre 2015

Statut Pré-BIM

- Le statut pré-BIM est caractérisé par :
- ▶ Flux de travail basés sur des documents
 - ▶ Dessin et détails en 2D
 - ▶ Flux de travail par à coup
 - ▶ Communications asynchrones
 - ▶ Relations antagoniques
 - ▶ Rejet des risques
 - ▶ Manque d'interopérabilité

Etapas X
 Migration
 2D vers 3D

BIM Phase 1
Modélisation
 basée objets

Etapas Y
 De la modélisation à
 la collaboration

BIM Phase 2
Collaboration
 basée modèle

Etapas Z
 De la collaboration
 à l'intégration

BIM Phase 3
Conception
 Intégrée

| | |
|--|---|
| Qualification minimale : | Utilisation d'un logiciel de modélisation 3D basé objets dans une discipline unique et dans une phase du cycle de vie d'un projet |
| Phases cycle de vie d'un projet : | Conception/Design (D) ou Construction (C) ou Opération (O) |
| Nombre de disciplines : | Une discipline |
| Propriétés Phase BIM : | (a) Processus itératif (b) Echange d'informations séquentiel (c) donner-retour linéaire d'informations et (d) Principalement communications asynchrones |
| Résumé des livrables : | (01) les trois premières dimensions de modélisation (géométriques) (02) Un modèle discipline unique (03) Vues automatisées et coordonnées (04) Visualisations 3D rationalisées (05) Données basiques collectées à partir du modèle |
| Exigences Champs BIM : | Changements de stratégie BASSE, changements des processus MOYENNE et changements technologiques HAUTE |
| Qualification minimale : | Partage multidisciplinaire de modèles ou parties de modèles BIM dans une ou entre deux phases de cycle de vie d'un projet |
| Phases cycle de vie d'un projet : | (DC), (CO), (DC) et/ou (CO) |
| Nombre de disciplines : | Minimum deux disciplines |
| Propriétés Phase BIM : | (a) Processus itératif (d) Principalement communications asynchrones (e) Echange d'informations cumulatif et (f) donner-retour multidirectionnel d'informations |
| Résumé des livrables : | (06) Quatrième et cinquième dimensions (07) Détection de conflits entre les disciplines (08) Données élaborées intégrées et collectées |
| Exigences Champs BIM : | Changements de stratégie MOYENNE, changements des processus MOYENNE et changements technologiques BASSE |
| Qualification minimale : | Le modèle est créé, partagé et maintenu en collaboration durant toutes les phases du cycle de vie du projet |
| Phases cycle de vie d'un projet : | (DCO) |
| Nombre de disciplines : | Trois disciplines ou plus |
| Propriétés Phase BIM : | (g) Le partage des risques remplace le report des risques (h) Processus non liés aux phases (i) Echange d'informations simultané (j) donner-retour d'information en spirale et (k) Principalement communications synchrones |
| Résumé des livrables : | (09) Modèle multidimensionnel (10) - le modèle BIM permet des analyses complexes dès les premières étapes de la construction virtuelle : développement durable, constructibilité, coût cycle de vie, etc... et (10) plusieurs disciplines utilisent le même modèle en partageant une base de données intégrée, interopérable ou fédérée |
| Exigences Champs BIM : | Changements de stratégie HAUTE, changements des processus HAUTE et changement technologique HAUTE |

Figure 3.3.3 : Phases BIM, une vue condensée (www.objectif-bim.com)

3.3.2. L'Ingénierie concourante

Comme le remarque François Pellegrin, « *Le BIM va révolutionner nos pratiques et le mode d'élaboration des projets* », il implique une modification de nos habitudes de travail entre les acteurs. Il décrit l'acronyme BIM comme « *bouleversement interprofessionnel majeur* ». En effet, le BIM favorise un travail transversal des différents acteurs à l'inverse d'une méthode conventionnelle qui rend la production d'un projet séquencée. Cette transversalité conduit à la notion d'ingénierie concourante. Même si ce sujet n'a rien de nouveau, il est vrai que les outils n'étaient pas adaptés pour favoriser l'émergence de cette pratique de travail. Aujourd'hui, le BIM pose encore beaucoup de questions et se

confronte à de nombreuses problématiques mais l'évolution des outils informatiques permettent d'accompagner une mutation vers cette pratique en plaçant les acteurs en situation de démarche qualité partagée.

Dans les recherches GREMAP, on montre que l'ingénierie concourante peut être plus efficace qu'une gestion traditionnelle de projet. Elle permet de mieux approfondir le projet en phase de conception pour anticiper et fiabiliser la réalisation. Ces travaux concentrent leur analyse sur l'ingénierie concourante dans le cadre des acteurs au-delà du projet et notamment le travail de co-conception au niveau de l'organisation.

Cependant cette pratique est difficilement applicable dans le cas de méthodologie continue dans un projet. Dans son travail sur la «Co-conception et savoirs d'interaction» Ben Mahmoud-Jouni reprend la phrase de Segrestin, 2003 «*Les problématiques spécifiques relatives à la régulation de ces nouvelles relations nécessitent un mode de régulation adapté qui combine les règles de coordination relevant du droit, d'une part, et celles de cohésion plus proche de l'association, d'autre part*». Par analogie avec le BIM, cette citation exprime bien le besoin de changement non pas simplement dans les comportements des acteurs mais la nécessité de mettre en place une adéquation de la pratique avec la méthodologie du BIM en définissant les règles de gestion et de communication d'un projet comme on l'a exprimé dans la convention BIM. Dans cette citation, on comprend aussi l'importance de la notion de cohésion et de proximité par l'intégration des connaissances et compétences des gens et des genres à travers l'usage de la maquette numérique.

En analysant le développement, la mobilité des compétences et les stratégies développées des acteurs dans un travail de co-conception, Ben Mahmoud-Jouni met à jour trois objectifs que l'on peut reprendre dans la volonté que porte le BIM:

Le développement de l'innovation: L'intérêt de mettre en interaction la conception du projet avec le processus de production et de réalisation permet de développer des innovations. A l'inverse dans une vision séquentielle, la coupure entre la conception et l'exécution rend difficile cette innovation. On va permettre à chaque acteur d'optimiser sa propre tâche sans avoir une vision globale dans l'intérêt d'une qualité supplémentaire du projet. Quand bien même la relation entre les différents corps de métiers soit l'essence même d'un ouvrage. Il se peut que cette vision individualiste fasse émerger des conflits dans un souci d'intérêt à court terme de l'entreprise.

Le développement des offres de stratégies : Par cette pratique de collaboration, la co-conception peut favoriser le partenariat et la prise de risque des acteurs. Ces derniers ne sont plus dans l'attente d'une initiative extérieure ; au contraire en développant des

offres de stratégies proactives, ils deviennent entrepreneurs afin de répondre de façon réactive à aux concours.

La nécessité de répondre à des contraintes fortes par le déplacement des pratiques et donc des savoirs en amont.

Ces objectifs peuvent être mis évidence par exemple dans le cas d'étude d'un parking, qui bien souvent fait appel à un modèle de réalisation conception afin d'intégrer dès le début du projet la conception exécutive et l'interaction avec les entreprises.

Dans le cas d'un parking, le projet est très contraignant au niveau des coûts. Ainsi, il est dans l'intérêt de tous les acteurs que l'entreprise de travaux exécutive entre en interaction le plus tôt possible avec l'équipe de conception. Par son savoir-faire, elle pourra identifier les éléments du projet pour son optimisation et réduira de façon non négligeable les coûts. A ce moment-là, l'interaction entre les savoirs des acteurs et la mesure réaliste des besoins et des contraintes pourra amener les partenaires à innover dans les conditions de temps de recherche et de partage appliqué. Par la suite, les acteurs peuvent même être amenés à être dans une relation directe avec un fabricant de matériaux pour mettre en place de nouveaux procédés industriels conduisant à l'innovation: de la chaîne de production à la fabrication.

A travers son analyse, Ben Mahmoud-Jouini en déduit donc que les acteurs mettent en place différentes formes d'interactions:

- La participation active de la maîtrise d'œuvre dans la conception de l'exécution, en intégrant la conception du produit
- La participation des acteurs de l'exécution (entreprises de travaux) et/ou industriels (fabricants) à la conception du produit comme dans le cas du parking

L'interaction entre les acteurs génère un flux de partage et de production intense de données dont il est alors nécessaire de prendre la mesure afin de pouvoir organiser la méthodologie BIM.

Lorsque l'on observe la décomposition d'un processus générique d'élaboration d'un travail collaboratif concourant, on observe un séquençage des activités de phase dite « co-conception » et « conception distribuée » qui peuvent s'apparenter aux différentes étapes : étape de processus par phase par exemple.

- La co-conception est le moment où les acteurs confrontent et partagent leurs avancées pour en faire la synthèse
- La conception distribuée est le moment où ils se répartissent le travail,

avancent leurs contributions BIM pour les prochaines phases

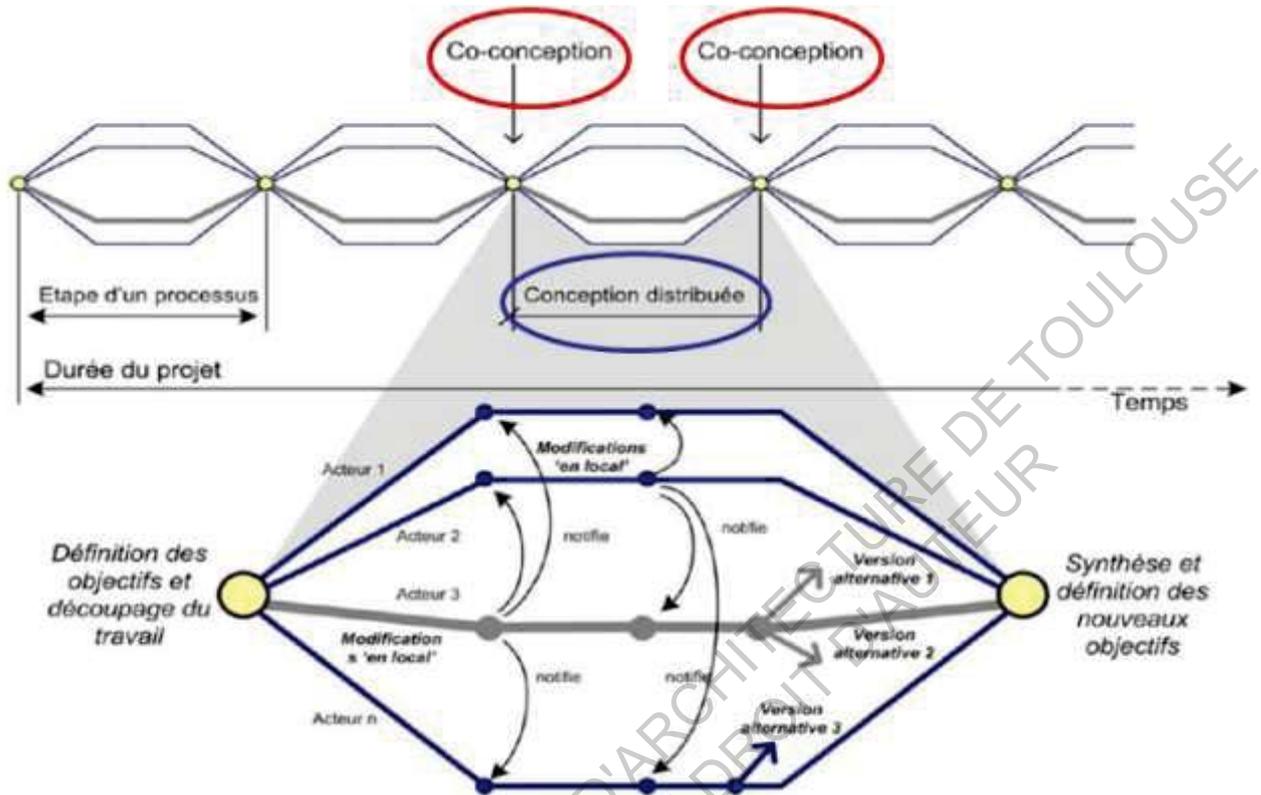


Figure 3.3.4 : La conception concurrente, entre co-conception et conception distribuée

(<http://www.unjt.eu/cours/bim>)

3.3.3. Requalification, redistribution ou déplacement des compétences et des responsabilités ?

Dans le cas d'une mise place du BIM, les objectifs fixés dès le début de la conception peuvent amener à une densité plus importante d'interactions entre les acteurs et donc une production associée d'informations plus conséquente.

C'est ce que révèle le travail de Patrick McLeamy qui montre un réajustement de la valeur des efforts produits dans un projet. Dans une approche BIM, la distribution des efforts est fournie plus en amont dans le temps de la conception par rapport à un projet conventionnel, où jusqu'à présent ces efforts culminaient dans la phase DCE.

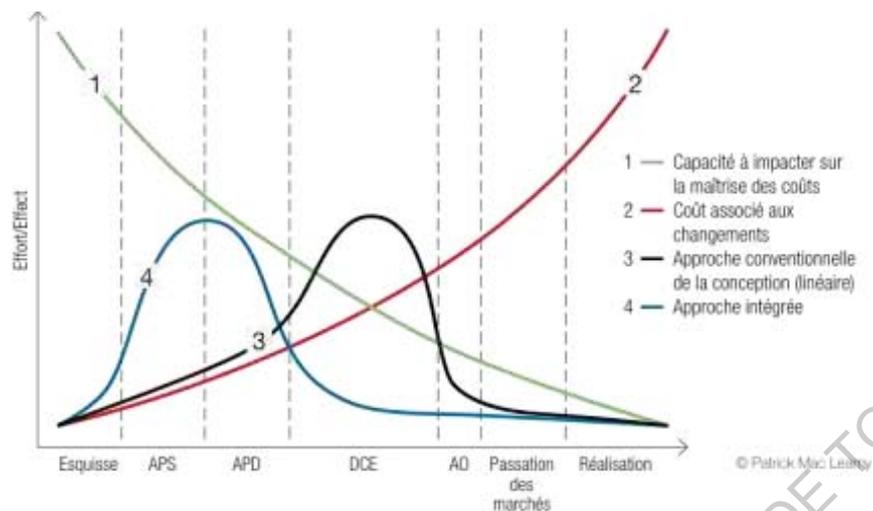


Figure 3.3.5 : Courbe de Mac Leamy d'après (Leamy, 2004)

Cependant, pour concevoir un bâtiment conforme aux attentes de qualité, cette forme nécessite des moyens. Il en ressort que le processus BIM nécessite de valoriser d'avantage la phase de conception sur le plan financier et temporel afin d'améliorer la qualité des livrables et limiter les coûts dans la phase de réalisation et tout au long de l'exploitation de l'ouvrage.

Actuellement, le BIM engage un investissement dont le surcoût dans la conception doit permettre de réaliser des économies sur la mise en œuvre et sur l'exploitation à long terme mais cela reste à approfondir dans une analyse plus poussée. Dans une étude réalisée par la FFB en 2010, les incohérences liées à un manque d'interopérabilité et de méthodologie coûteraient environ 40 €/m² de SHON pour les entreprises et 2,3 €/m² de SHON généré par an pour la gestion de patrimoine soit une économie de 500 euros par logement sur un devis de peinture et une réduction des coûts de 10 à 15% de nettoyage par la connaissance exacte des m² à rénover. 7% de gain par an seraient réalisés sur le budget maintenance. Il faudrait moins de 2 ans pour un retour sur investissement.

Pour Philippe Estingoy, 5% la conception de l'architecture génère 70 à 90% du coût de l'opération. Pour lui, il faut repenser la synthèse souvent mal faite. Ainsi, les nouvelles pratiques vont modifier le rôle de la mission de synthèse.

Le rôle de la mission de synthèse peut être un rôle d'anticipation et de simulation des problématiques. On est dans le cas d'une vision prospective du projet qui nécessite l'interaction et la mise en commun des compétences des principaux acteurs du projet le plus tôt possible. La synthèse d'exécution fait partie intégrante de la mission de conception.

Cependant cette intégration suppose un effort supplémentaire que ce soit dans l'investissement, le temps et l'organisation. Même si le principe de travail concourant associe la performance d'interopérabilité entre les acteurs

Comme c'est souvent le cas dans les projets conventionnels, à l'inverse la mission de synthèse peut avoir un rôle de gestion des problématiques. L'interaction des exécutants se fait post-conception. On est dans ce cas dans une confrontation entre la pensée de conception et la réalité constructive. Même si le niveau de conception reste souvent moins poussé pour la simple raison que les entreprises sont responsables de l'ingénierie de conception. Cette dernière n'est pas confiée au concepteur mais au réalisateur. A l'inverse des pratiques anglo-saxonnes où la maîtrise d'œuvre va jusqu'à compter le nombre de tours, de boulons, etc. Il en résulte bien une implication de la maîtrise d'ouvrage moins importante dans la conception d'exécution.

Le BIM demande donc que les acteurs soient mieux coordonnés dans leurs actions et peut demander selon les objectifs en amont du projet que de nouveaux acteurs comme les entreprises intègrent la conception (comme le cas d'une réalisation-conception) ou alors la maîtrise d'œuvre possède des compétences exécutives qui devront être validées par une entreprise exécutive qui en prendra la responsabilité.

Lorsqu'on reprend l'analyse des pratiques de co-conception et des interactions de Ben Mahmoud-Jouini, qui met en évidence leurs avantages. On se rend compte de l'importance de bénéficier des compétences adéquates au bon moment :

- Apprentissage et développement des compétences
- Innovation
- Initiative par le développement de la stratégie d'offre
- Qualité augmentée et limitation des problèmes d'exécution

Cependant, il soulève des divergences dans ces pratiques liées à la volonté de requalification, redistribution et déplacement des compétences comme :

- Répartition de nouveaux modes de responsabilité qui restent à étudier
- Dans le cas d'un concours, le risque d'investir en amont du projet de façon plus conséquente pour payer les pré-études, l'exploration et l'expérimentation voire l'exécution si celle-ci est responsable ou intègre une entreprise exécutive. Ce risque est un critère important qui peut poser des problèmes de compétitivité des petites entreprises qui ne pourraient pas se permettre de perdre le concours. Il est donc impératif d'assurer l'équité entre les différents compétiteurs. La solution pourrait être que le maître d'ouvrage finance un minimum l'appel à candidature comme c'est déjà le cas dans les marchés publics

ou alors comme l'évoque Mahmoud-Jouini, mettre en place un système de sélection progressive en plusieurs étapes.

- Le risque de se faire voler ses compétences par le partenaire et de perdre ainsi un avantage compétitif. Jouini cite le phénomène de « learning race » (Khanna, 1988) où les acteurs essaient de d'obtenir des informations de leurs partenaires avant de changer et de reproduire la même démarche avec d'autres. On remarquera que ce phénomène est très connu dans les grandes entreprises du bâtiment et il en va de même dans le partage interne entre les acteurs de la maîtrise d'œuvre comme par exemple la volonté de ne pas faire échapper leur charte graphique, plans, etc. C'est pourquoi la protection des données et la mise en place d'un processus de propriété intellectuelle doivent être définies par le BIM manager.

Voici un cas d'étude pour expliciter les problématiques soulevées :

Dans le cas d'une construction métallique très complexe, la maîtrise d'œuvre ne maîtrise pas une compétence comme l'assemblage d'éléments métalliques. Si l'entreprise n'est pas intégrée dans la conception, la MOE produit donc des plans de principe. Elle laisse l'initiative à l'entreprise qualifiée de produire les plans d'exécutions et de développer leur conception. Qui plus est, comme l'évoque la loi MOP, il est du ressort et de la responsabilité de l'entreprise et de l'industriel d'exécuter cette production.

La problématique dans ce cas de figure est que :

- Le travail d'exécution est sous valorisé pour le concepteur. Même si celui-ci a déjà une idée sur les techniques à mettre en œuvre. Du fait de cette faible valorisation, la conception n'exploite pas en profondeur le champ de production du projet.
- C'est l'entreprise qui est responsable.
- La documentation souvent incomplète du projet dans la phase aval peut entraîner une surestimation des offres pour couvrir les risques de coûts cachés.
- La production d'EXE est souvent difficile à effectuer du fait d'un manque d'une part de compréhension, et de réinterprétation de l'architecte ingénieur au constructeur : on a une confrontation entre la pensée de conception et la réalité constructive.

A l'inverse :

Le champ de connaissances des producteurs se préserve et lors de la mise en concurrence, il permet à ces derniers de se différencier et d'apporter une réelle valeur ajoutée.

Dans les deux cas, il est complexe d'intégrer la production de ces données dans la phase de conception. Le BIM dans ce cas reste dans un processus séquentiel de production des données. La maîtrise d'œuvre travaille sur une mise en cohérence des produits industriels en exploitant une base d'objets 3D accessible ou simplement en définissant un besoin par des plans ou modèles de principe. Dans le cas d'une volonté d'innovation comme c'est souvent le cas pour des projets d'exception ou encore un besoin clairement identifié, l'entreprise sera prête à engager ces champs de connaissance bien plus en amont et ainsi nourrir un modèle 3D bien avant (exemple musée des arts et d'islam).

On peut conclure que la pratique de conception concurrente émet des problématiques anciennes que le processus BIM resitue aujourd'hui. Qui plus est, les pratiques du BIM peuvent être très diverses dans les relations induites par les objectifs du projet, mais aussi lorsque l'on s'intéresse au cadre réglementaire tel que les formes de marchés et types d'appels d'offres (voir chapitre consacré aux types d'appel d'offres). Ces derniers organisent la séparation entre les acteurs. Le cadre réglementaire ne permet pas toujours les interactions entre les acteurs dans le cadre du projet d'où l'importance que la maîtrise d'ouvrage soit conseillée et acquière de l'expérience dans les différents modes d'appels à concours. Il est également important de revoir les conditions de valorisation de la conception et de la synthèse qui assure la qualité du cycle de vie l'ouvrage. Il faut mesurer l'implication de risques comme le besoin de modifier la réglementation qui soumet une responsabilité. Mais sans pour autant faire perdre le rôle des exécutants à ne devenir que de simples ouvriers sans qu'ils puissent interférer et apporter leurs compétences.

3.4. Le cas du projet : La Cité des Vins et des Civilisations

Réalisé par X-TU architecture, le projet de la CVC (Cité des Vins et des Civilisations) contenu du contexte, dans sa complexité des formes a nécessité de mettre en place le modèle numérique 3D en vue de sa construction sur le plan de l'enveloppe et de la structure. Jean-Baptiste VALETTE, la référence du BIM chez Vinci Construction France qualifie de niveau 2. On sait que l'emploi de la maquette numérique s'est avéré important dans la phase de conception et l'évaluation de la planification du chantier.

Contenu du manque d'information dont je dispose pour analyser la méthodologie du BIM employé, je ne m'attarderais pas sur le sujet. Nous nous intéresserons surtout au potentiel qu'ont su exploiter les acteurs du projet par l'utilisation de la maquette numérique.

D'après le retour d'expérience du BIM sur la Cité du Vin à Bordeaux, conçue par X-TU Architects, D. Bachmann, A. Legendre, chaque composante du projet exige un savoir-faire spécifique et un réel esprit d'équipe du fait des très fortes interactions entre les différents métiers.

Le choix du BIM et sa mise en place se sont accordés sur les objectifs suivants :

- Recherche d'optimisation globale du clos couvert
- Interaction forte entre les différents intervenants
- Facteur humain (accepter de réaliser des tâches non pas pour son entreprise mais pour les autres)
- Complexité géométrique de l'ouvrage (modèle géométrique et de calcul)
- Nécessité de programmer la charpente et la vêtture à partir d'une surface de référence et non de les dessiner
- Nécessité d'une étude au vent numérique
- Délai de mise en place d'une organisation permettant de faire travailler ensemble huit entreprises ayant une expérience de la 3D et des besoins différents et en adéquation avec les besoins de la maîtrise d'œuvre
- Tolérances de fabrication, de pose et de déformation
- Interopérabilité des logiciels

Ce que l'on peut retenir de la méthodologie, c'est la volonté d'organisation du BIM d'adopter une posture progressive qui va s'adapter aux problématiques rencontrés.

Pour en citer quelques uns :

- La non adéquation des logiciels à répondre à leurs attentes comme par exemple la non possibilité d'extraire ou de créer une donnée spécifique
- La difficulté de la capacité de mémoire du fait de travailler sur maquette unique
- La différence de maturité du BIM des différents acteurs

Dans le cas de ce projet, on a le sentiment que deux maquettes ont été mises en place :

- Une maquette concernant la mise en œuvre du gros œuvre qui reste relativement rationnelle et classique
- Une maquette concernant l'enveloppe générale du bâtiment. Ici, la forme est plus complexe et a nécessité l'emploi d'un outil paramétrique. Lors du dialogue, les échanges ont été essentiellement géométriques avec très peu d'informations associées.

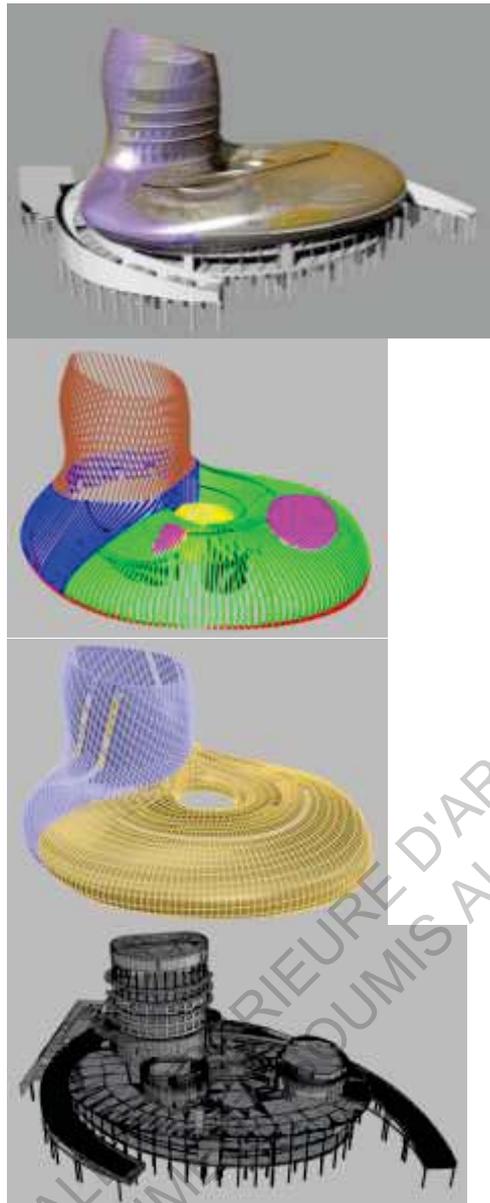


Figure 3.4.1 : Les différentes maquettes numériques du CVC (Débatek, 2014)

3.4.1. Les différents cas d'exploitation de la maquette numérique

La synthèse

La mission de synthèse de modélisation du modèle 3D a été mise en place avec la MOE et les contributeurs tous les mois sur TEKLA, et suite à des difficultés la synthèse s'est faite sur Rhinocéros.

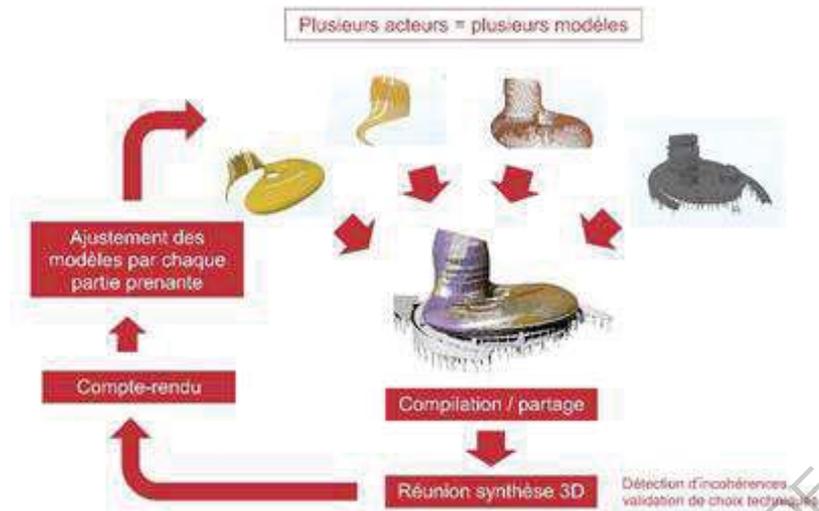


Figure 3.4.2 : Mode d'organisation du CVC (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)

La mission de synthèse de l'exécution des réseaux est restée conventionnelle, c'est-à-dire par superposition de plan 2D sur Autocad. Des problèmes de ressaisies et de collisions sont apparus (ALLOUCH Sarah, Synthèse tout corps d'Etat du CCVB, 2014)

Une synthèse 3D entre la structure et la scénographie a été réalisée en direct par ARBONIS avec CASSON MANN. Modèles 3D de CASSON MANN reçu par ARBONIS et implanté dans CADWORK.

Le BIM 2 pour la mise en place des programmes et les détails

Extrait du modèle 3D mis en place sur Revit, l'utilisation de la 2D reste un élément indispensable car il peut être plus sensé. Elle dépend de la pertinence, du temps et des efforts nécessaires pour réaliser une tâche et de la cohérence du fichier (Karen Kensek, 2015 p. 40).

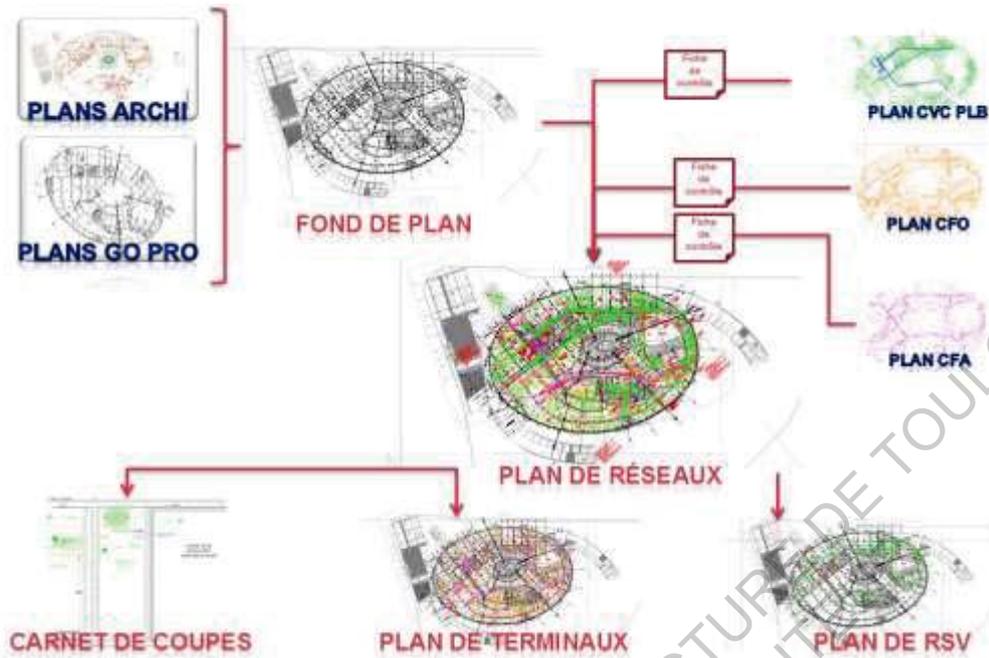


Figure 3.4.3 : Organigramme du déroulement du travail de synthèse 2D comme sous couche sur le modèle 3D du CCV (ALLOUCH Sarah, 2015 p 40)

Ici par exemple les détails des planchers ont été dessinés directement en surimpression sur le modèle 3D. Cette fonction permet de pouvoir attacher directement le dessin sur l'espace du modèle voulu. Ainsi, la modification du modèle comme par exemple le déplacement d'un plancher entraînera une mise à jour également du dessin 2D en coupe puisque celui-ci est directement lié.



Figure 3.4.4 : Coupe 2D extraite de la maquette numérique agrémentée d'informations 2D en sous couche sur le modèle (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)

3.4.2. Les études du projet par l'intermédiaire de la maquette

Ici, dans un souci de limitation du poids et de la quantité d'informations, les échanges ont été essentiellement géométriques avec très peu de données pour ce qui de l'enveloppe de l'ouvrage

Etude de l'enveloppe

Pour la charpente et l'enveloppe extérieure, la complexité du modèle ne permet pas de dessiner suivant la méthode traditionnelle. C'est pourquoi l'agence a mis en place, pour pouvoir réaliser le modèle géométrique, un programme en développant des algorithmes sur Rhinocéros couplé au plug-in GrassHopper. (Développement du programme)

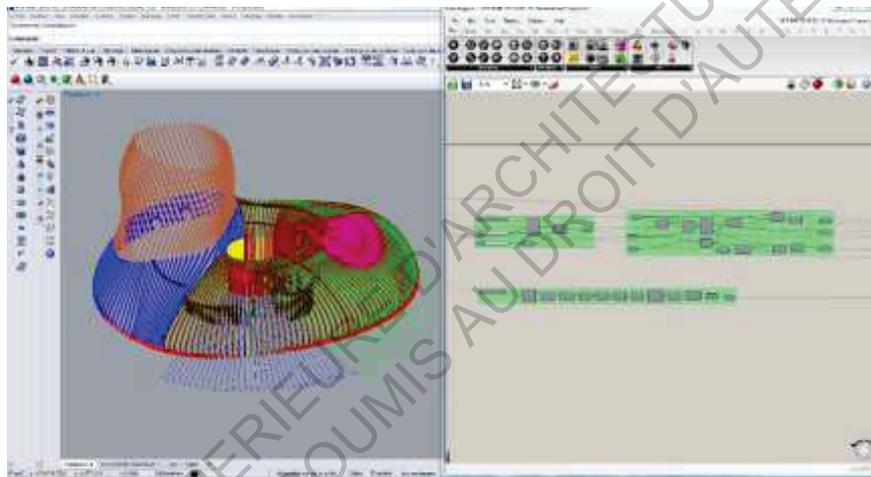


Figure 3.4.5 : Développement du programme via rhinocéros et grasshopper (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016z)

Cette démarche permet d'explorer différentes formes en mettant en adéquation la recherche de formes organiques de la charpente bois et l'usage du programme dans sa volumétrie (Recherche de formes et Relation). Par la suite, l'impression 3D permet aux architectes de produire des maquettes physiques pour aider à la visualisation tant pour présenter les évolutions à la maîtrise d'ouvrage que pour aider à faire des choix.



Figure 3.4.6 : Recherche de formes et relation entre la charpente bois et les volumes intérieurs (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)



Figure 3.4.7 : Décomposition de l'enveloppe (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)

Une fois les éléments de composition de l'enveloppe modélisés et le choix du calepinage fait, les paramètres définis et les relations établies vont permettre aux objets liés de s'adapter aux différentes modifications du modèle (fig 3.4.7).

Ensuite, il s'agit d'optimiser par l'analyse des éléments et de la forme l'enveloppe. Le modèle passe ainsi par un processus d'analyse de la structure liée à l'effort du vent. Le bureau d'étude incrémente sur l'enveloppe extérieure de la maquette une grille qui répartit sous la forme vecteur la réaction des efforts au vent, comme on peut le voir sur la figure 3.4.8 : répartition des efforts au vent.

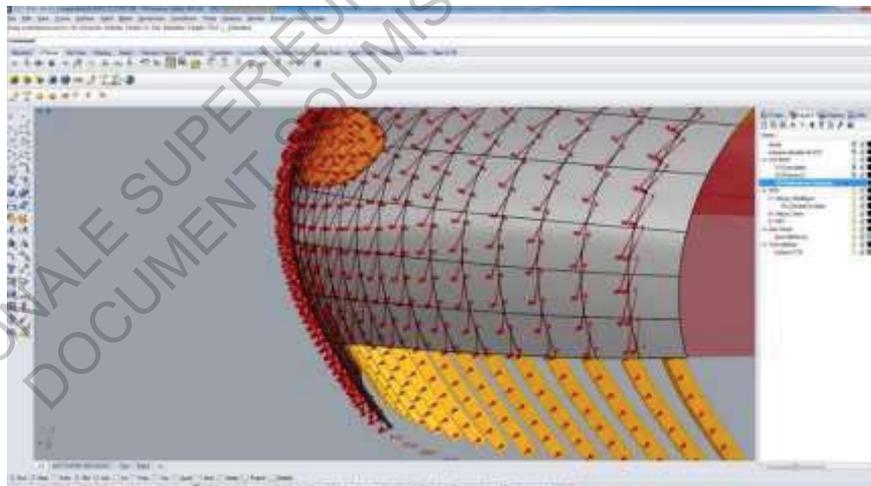


Figure 3.4.8 : Répartition des efforts au vent (Débatek, 2014)

De même lors de l'analyse de descente des charges, les bureaux d'étude (Terrell) ont dû ajouter dans le modèle les axes en périphérie des composants de la charpente afin de pouvoir y étudier les fibres tendues et comprimées. Pour finir sur l'étude de l'enveloppe, la maquette numérique subit des simulations pour une analyse des frottements du vent en soufflerie sur la forme du projet. A noter que ce même test a été mis en application

sur une maquette physique et les écarts entre valeurs théoriques et valeurs mesurées ont été faibles (étude des frottements du vent).

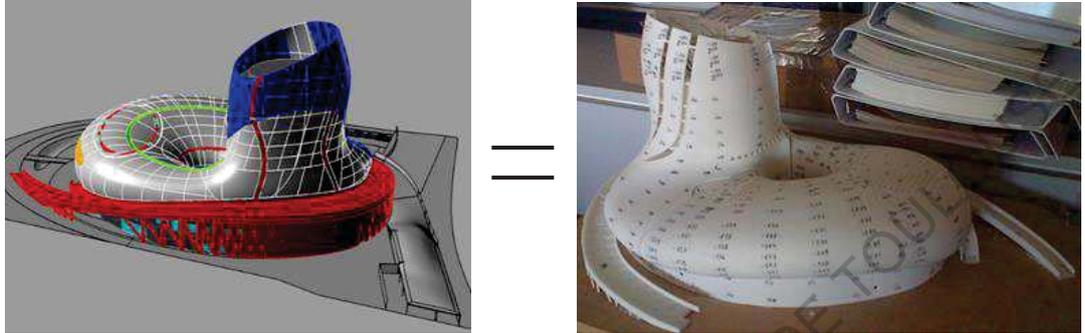


Figure 3.4.9 : Etude des frottements du vent (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)

Etude des ambiances

L'exploitation du modèle a également pu développer un travail de scénographie et mettre en évidence l'ambiance (Etude scénographique). Ce même travail peut être fait pour l'insertion dans le site et la qualité paysagère qui se dégage (Insertion et matérialité des matériaux dans le site).



Figure 3.4.10 : Etude scénographique (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)



Figure 3.4.11 : Insertion et matérialité des matériaux dans le site (XTU Architects, Retour

Etude de faisabilité et planification

La 4D ajoute la notion de temps : planning, phases et séquences de construction ou encore fabrication en temps réel.

Malgré la complexité de formes et la multiplicité diversité des éléments, la simple extraction des géométries des éléments permet d'identifier la quantité d'éléments à fabriquer. Comme on peut le voir sur la vêtue extérieure, les outils informatiques ont permis de décomposer les éléments (décomposition des vêtues extérieures). Cette donnée géométrique propre à chaque élément sera ensuite ré-exploitée en vue de leur réalisation.

| Vêtue vitrée | Vêtue composite |
|---|--|
| 2235 m2 de verre décomposé en 3 types : verres plans jointifs (jaune), verres bombés jointifs (vert) et verres plans à écailles (rouge) | 2500 panneaux de formes et dimensions différentes dont 90% de panneaux plans en partie cintrés à froid et 10% cintrés à chaud en atelier |

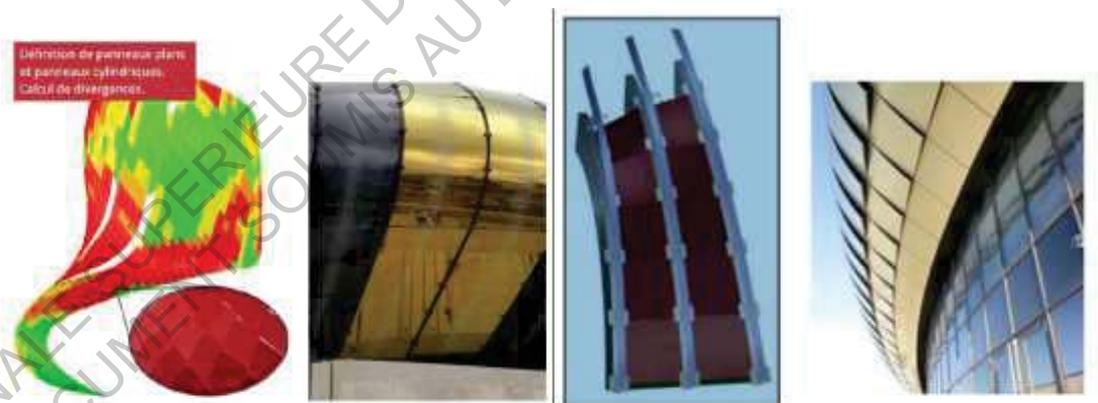


Figure 3.4.12 : Décomposition des vêtues extérieures (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)

Dans un souci d'organisation entre les producteurs de la maquette et d'amélioration de la capacité mémoire pour pouvoir travailler, il a été décidé de scinder la maquette en plusieurs parties bien distinctes qui correspondent aux joints sismiques du bâtiment (Découpage et organisation du modèle).

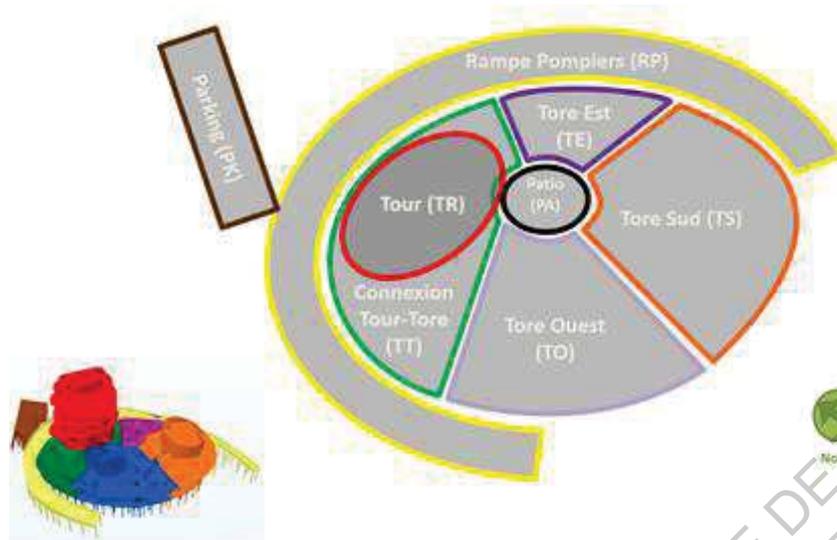


Figure 3.4.13 : Découpage et organisation du modèle (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)

Afin de mieux anticiper les problématiques à venir lors de la réalisation, le groupe Vinci a utilisé la maquette afin de planifier dans le temps le phasage de réalisation du chantier en fonction des niveaux de l'ouvrage. La visualisation des éléments porteurs du gros-œuvre (fondations, poteaux, poutres, dalles, murs et planchers) permet de clairement identifier les modes constructifs choisis. L'extraction des données du modèle lui permet d'établir les quantités précises nécessaires à l'estimation et à la réalisation de l'ouvrage. Selon la pertinence, la dimension 4D peut même être poussée jusqu'à identifier les rotations de banches. Dans le cas de la CVC, des simulations de pose des éléments de l'enveloppe sur le gros-œuvre ont été faites et analysées.

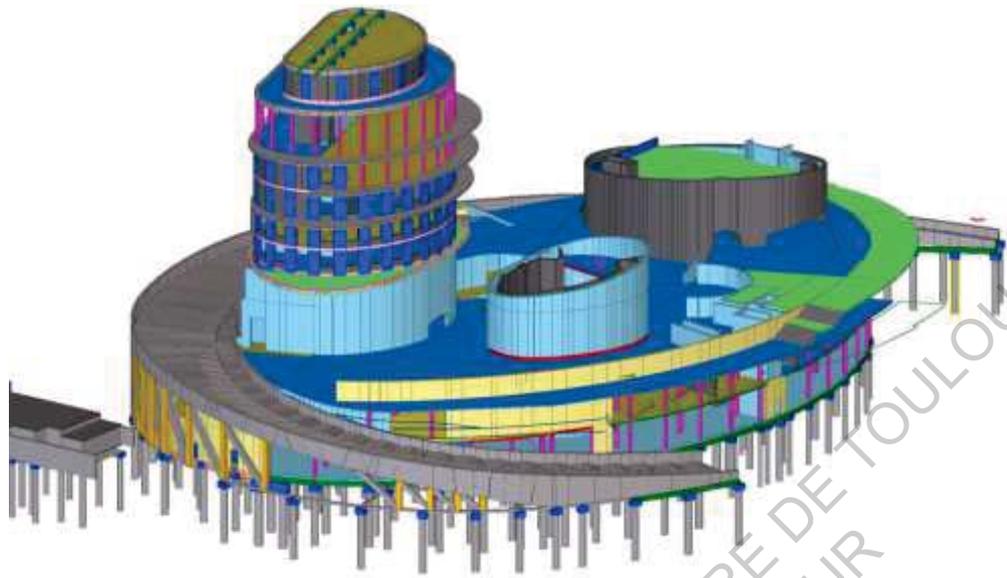
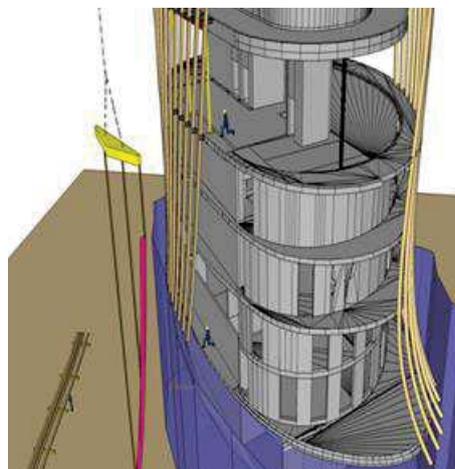


Figure 3.4.14 : Visualisation du GO et approche phasage de réalisation (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)



La fabrication et réalisation

Une des composantes importante des outils est de pouvoir intégrer les données de la maquette numérique dans le processus de fabrication des éléments constructifs. Dorénavant, l'intelligence des nouveaux outils de production permet de ne plus produire de façon homogène en répétant et standardisant les éléments de production. Bien au contraire, l'intelligence des machines comme par exemple la découpe de matériaux ne fait pas la distinction entre tracer une ligne droite et une courbe. Même si une légère perte de rentabilité peut être constatée, elle produit une richesse dans la diversité de formes de production des objets qui la distingue nettement des procédures conventionnelles, comme on peut le voir sur l'illustration de découpe d'élément de structure pour notre pavillon du Fablab festival en 2015.



Figure 3.4.16 : Découpe d'élément de structure par une fraiseuse numérique (Quaternion, pavillon du Fablab festival 2015)

Dans le cas du CVC, l'exploitation des données des modèles numériques en lien avec la gestion des machines à commande numérique a pu être utilisée pour la fabrication des pièces de ferrures liant les éléments de charpente comme pour les 4000m² de panneaux contreplaqués sur mesure. Les géométries en arc de la charpente en lamellé-collé ont pu être extraites sous la forme de plan de nomenclature en vue de leur analyse pour

l'exécution et la fabrication en usine. Cependant des problèmes survenus lors de l'exécution ont nécessité la modification des éléments.

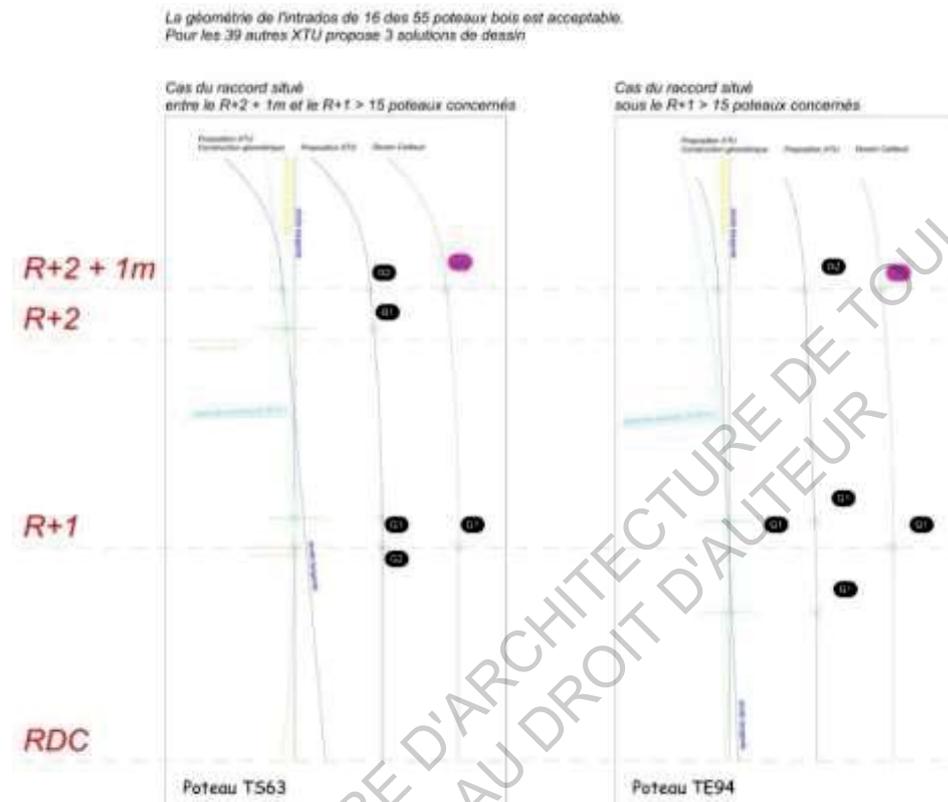


Figure 3.4.16 : Analyse des arcs et proposition géométrique d'adaptation structurelle au niveau des jonctions (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)

En effet, les outils de fabrication de la charpente en lamellé-collé n'ont pas permis une grande souplesse de fabrication et ont entraîné une forte contrainte de production.

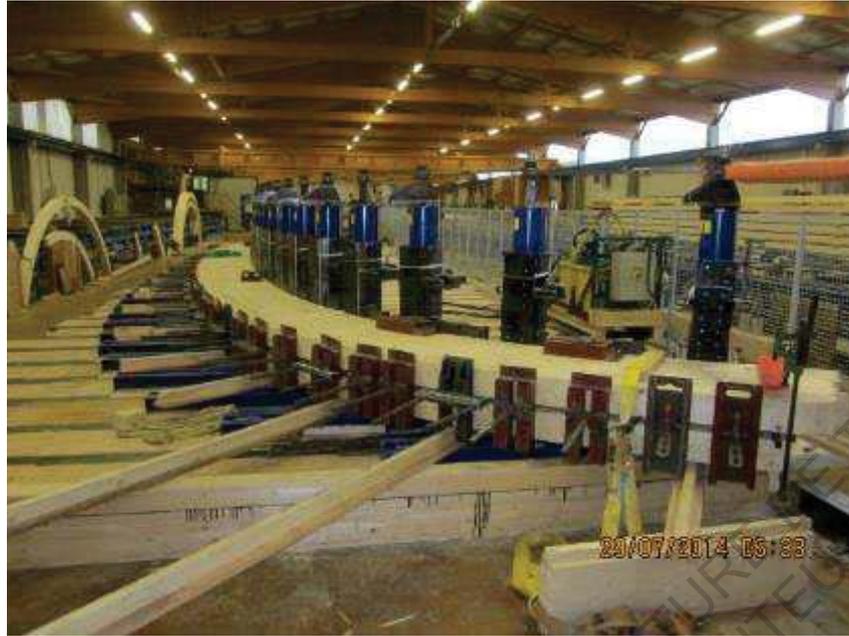


Figure 3.4.17 : Usine de production de la charpente bois : Caillaud Lamellé Collé

A cela s'ajoute une latitude dans la précision de l'exécution des pièces qui accumulée rend problématique la connexion des éléments entre l'infrastructure et l'enveloppe lors de la mise en œuvre du chantier.

Dans le cas de contraintes liées à la fabrication, l'exécutant a mis en place deux solutions pour adapter les éléments de la structure à la réalité :

- D'une part, une recherche d'optimisation de collage par le regroupement en familles de pièces a été réalisée sur Grasshopper et Rhinocéros ;
- D'autre part, un travail de relevé des points d'assises de la charpente a été effectué par un scan de nuage en vue de l'implantation des arcs. Il a pour rôle de transcrire le réel sur le théorique, redessiner et adapter une par une les pièces de métal.

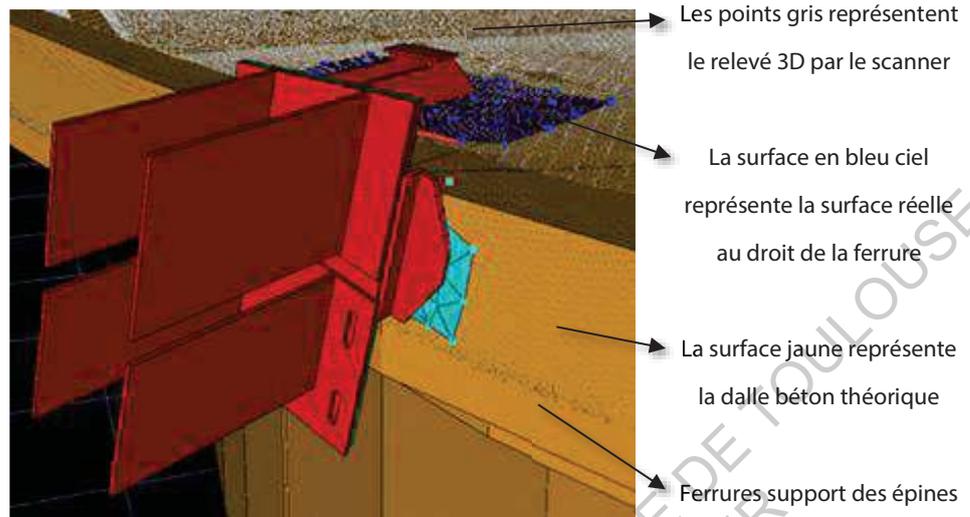


Figure 3.4.18 : Implantation et contrôle des ferrures par scan 3D (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)

On peut remarquer que si l'intégration des savoirs faire de l'entreprise d'exécution avait été faite en amont de la réalisation, elle aurait permis de mesurer et d'identifier l'impact de ces contraintes. Par ce travail de partage des connaissances et de compétences, d'autres alternatives auraient pu être trouvées et ainsi anticiper afin d'éviter ces problèmes soulevés dans l'exécution comme par exemple l'emploi d'un technicien pendant tout le chantier pour faire le relevé par scan numérique de tous les points d'appuis des arcs en vue d'un recalibrage des plans d'exécution des pièces métalliques de la structure (cette étape a représenté 30% du budget travaux de la tour).

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

4. Conclusion générale

Quelles sont les conséquences des pratiques du BIM à travers la méthodologie et l'exploitation des données par les outils?

Ce mémoire montre à quel point le cœur du BIM s'axe inconsciemment autour de la notion d'amélioration de la communication entre les acteurs. Il est donc important de comprendre son langage sémantique. Ainsi, en décomposant les IFC, on peut mieux dialoguer et maîtriser cette nouvelle façon de dessiner. Pour dialoguer, il faut qu'il y ait un émetteur, un message qui avec son canal peut échanger avec le récepteur. On a vu que le BIM n'est en rien un outil, c'est surtout une démarche de transformation qui par sa méthodologie et les outils qui lui sont associés modifie et remet en question nos pratiques conventionnelles du projet.

Cette transformation demande de revoir nos méthodes d'organisation et nos relations. Elle nous pousse à travailler davantage ensemble par l'augmentation et l'amélioration de la qualité de nos échanges mais aussi dans la qualité de l'information qui nécessite d'être mesurée afin d'anticiper les demandes du récepteur. Cette planification fait émerger l'importance d'intégrer un nouvel acteur que l'on nomme le BIM manager qui peut prendre comme nous l'avons vu plusieurs formes.

On s'aperçoit de l'importance dans nos pratiques d'identifier les sources de départ d'un projet BIM. Celles-ci posent la question des conditions d'organisation et de structure de la commande et doivent mesurer les objectifs qui en découlent comme on l'a vu dans la convention BIM. Ces conditions doivent être le point de démarrage en vue d'analyser la démarche à mener. Selon le niveau dans lequel le BIM se situe, on se rend compte que l'organisation n'est pas du tout la même. En effet, dans le cas d'un processus de collaboration intégrée, il est primordial d'avoir une meilleure compréhension des enjeux supportée par une consolidation méthodique de toutes les technologies, processus et stratégies concernés.

Nous avons vu à quel point le BIM favorisait un travail transversal d'où un retour à la notion d'ingénierie concourante avec les avantages que cette méthode implique comme l'innovation, la résolution de projets plus complexes et le partenariat des acteurs. Néanmoins, la question du partage des compétences et des responsabilités est remise en question. Alors la conception doit avoir plus d'importance, il serait donc dans notre intérêt de pouvoir choisir de confier la mission d'exécution au concepteur, ce qui aujourd'hui pose un problème propre à la France puisque c'est l'entreprise qui est responsable de l'ingénierie de conception.

Les travaux de Mac Leamy ont mis en évidence l'importance de devoir réajuster la valeur des efforts produits dans un projet dans la phase amont de l'exécution. Ainsi se pose la question des types d'appel d'offre. L'analyse des pratiques actuelles montre que la réalisation conception semble plus propice à s'adapter au BIM puisqu'elle intègre l'entreprise dès la phase conception.

Dans ce mémoire, nous avons développé dans un premier temps un aspect très théorique qui, dans le cas des exemples concrets, montre que :

- L'utilisation de la maquette numérique apporte une plus-value considérable dans les études du projet comme c'est le cas de l'exemple de la cité des vins et des civilisations. En effet, par l'utilisation seulement des données géométriques, nous avons pu faire une quantité importante de choses dans les différentes dimensions du BIM.
- il est difficile de modifier nos pratiques. Le manque d'interopérabilité des outils reste encore un frein important pour nous faire sauter le pas. Aussi, le niveau de connaissance et de compétence du BIM des différents acteurs n'étant pas équitable, on se rend compte qu'il est tout naturel que l'agence X-TU du CVC préfère travailler au niveau 2 du BIM qui permet à la fois de s'adapter aux pratiques conventionnelles et de pouvoir progressivement modifier nos pratiques du BIM par l'acquisition de compétences et la formation.

Je suis convaincu que les questions abordées dans ce travail sont des enjeux d'avenir. A travers cette recherche, j'ai pu prendre conscience de la complexité induite par l'application de nouvelles pratiques, non pas simplement par la maîtrise de nouveaux outils qui en soit ne pose que des problèmes d'ordre technique. C'est surtout la manière dont en s'en sert.

5. Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1.1 : Les enjeux et besoins dans le bâtiment (Cuba Segura, 2004) | 6 |
| Figure 2.1.1 : Illustration des paradigmes entre la méthode sans BIM avant et la méthode BIM de Olivier Celnik, Eric Lebègue | 10 |
| Figure 2.1.2 : Illustration du schéma de Schanon | 10 |
| Figure 2.1.3 : Illustration de la méthode BIM avec le schéma de la communication Schanon | 11 |
| Figure 2.1.4 : Illustration entre la méthode de la gestion des données avant et la méthode BIM. | 12 |
| Figure 2.2.1 : En France, la chaîne des éditeurs dans le domaine du bâtiment impliqués dans l'interopérabilité et la maquette numérique (Source : BIMSBOOK, Mediaconstruct 2011) | 13 |
| Figure 2.2.2 : Dérivation des principales classes IFC (Eric Lebègue , 2014) | 15 |
| Figure 2.2.3 : Structuration spatiale d'un modèle IFC (Eric Lebègue , 2014) | 15 |
| Figure 2.2.4 : Propriétés et quantités des entités IFC (Eric Lebègue , 2014) | 16 |
| Figure 2.2.5 : Exemples de relations entre entités IFC..... | 16 |
| Figure 2.2.6 : Association de matériaux à une entité IFC..... | 16 |
| Figure 2.2.7 : Placement et géométrie des entités IFC..... | 17 |
| Figure 2.2.8 : Exemples de transformation des géométries sur Grasshopper en entités IFC..... | 18 |
| Figure 2.2.9 : Grasshopper : modélisation de la géométrie d'un mur-rideau paramétrable..... | 18 |
| Figure 2.2.10 : Grasshopper : modélisation de la géométrie d'une porte paramétrable..... | 18 |
| Figure 2.2.11 : Grasshopper + plug-in GéométrieGym : mise en place de la géométrie de la porte paramétrable en composant IFC .. | 19 |
| Figure 2.2.12 : Schéma de principe de BIM Édition model et échange sur une plateforme (eveBIM). | 20 |
| Figure 2.3.1 : Niveaux de maturité des pratiques de modélisation collaborative (Botton et Kubicki, 2014)..... | 22 |
| Figure 2.3.2 : Formes de partage des informations (Source : Objectif BIM)..... | 23 |
| Figure 2.3.3 : Adéquation des DDD de la maquette numérique avec les phases du projet, Syntec-Ingénierie..... | 24 |
| Figure 2.3.4 : Définition des livrables par phase du projet et par échelle (Source : <i>Singapore BIM guide</i>) | 27 |
| Figure 2.4.1 : Schéma d'organisation des acteurs BIM dans la convention BIM (Mediaconstruct Page 22 / 50) | 28 |
| Figure 2.4.2 : Schéma d'organisation des acteurs BIM avec une entité indépendante du Management BIM (Mémoire de BERTRAND Quentin tiré de l'Extrait de la revue « AeroBim » n°1, Avril 2014) | 29 |
| Figure 3.1.1 : Les phases d'un projet de construction (Stéphane MOR, thèse 2015)..... | 30 |
| Figure 3.1.2 : Sous-étape du processus du cycle d'un ouvrage (Source N.D)..... | 31 |
| Figure 3.1.2 : Processus d'un appel d'offre conventionnel en entreprises séparées | 35 |
| Figure 3.1.3 : Processus d'un appel d'offre conventionnel en entreprise générale..... | 36 |
| Figure 3.1.4 : Processus d'un appel d'offre conventionnel en conception réalisation | 37 |
| Figure 3.2.1 : Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM (2016)..... | 40 |
| Figure 3.2.2 : Exemple de processus collaboratif d'autorisation pour publication..... | 45 |
| Figure 3.2.3 : Répartition du contrôle BIM « Mediaconstruct »..... | 46 |
| Figure 3.2.4 : Processus de collaboration du BIM Décathlon | 57 |
| Figure 3.2.5 : Activité et flux observés du BIM Décathlon (Bernard Ferriès, 2015) | 58 |
| Figure 3.3.3 : Phases BIM, une vue condensée (www.objectif-bim.com)..... | 60 |
| Figure 3.3.4 : La conception concourante, entre co-conception et conception distribuée (http://www.unit.eu/cours/bim | 63 |

| | |
|--|----|
| Figure 3.3.5 : Courbe de Mac Leamy d'après (Leamy, 2004)..... | 64 |
| Figure 3.4.1 : Les différentes maquettes numérique du CVC (Débatek, 2014)..... | 69 |
| Figure 3.4.2 : Mode d'organisation du CVC XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 70 |
| Figure 3.4.3 : Organigramme du déroulement du travail de synthèse 2D du CCV (ALLOUCH Sarah, 2015 p 40)..... | 71 |
| Figure 3.4.4 : Coupe 2D extraite de la maquette numérique (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 71 |
| Figure 3.4.5 : Développement du programme via rhinocéros et grasshopper (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 72 |
| Figure 3.4.6 : Forme et relation entre la charpente bois et les volumes intérieurs (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 72 |
| Figure 3.4.7 : Décomposition de l'enveloppe (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 73 |
| Figure 3.4.8 : Répartition des efforts au vent (Débatek, 2014)..... | 73 |
| Figure 3.4.9 : Etude des frottements du vent (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 74 |
| Figure 3.4.10 : Etude scénographique (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 74 |
| Figure 3.4.11 : Insertion et matérialité des matériaux dans le site (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 74 |
| Figure 3.4.12 : Décomposition des vêtements extérieurs (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 75 |
| Figure 3.4.13 : Découpage et organisation du modèle (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 76 |
| Figure 3.4.14 : Visualisation du GO et approche phasage de réalisation (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 77 |
| Figure 3.4.15 : Analyse des méthodes de pose (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 77 |
| Figure 3.4.16 : Découpe d'élément de structure par une fraiseuse numérique (Quaternion, pavillon du Fablab festival 2015)..... | 78 |
| Figure 3.4.16 : Analyse des arcs et proposition d'adaptation structurelle (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 79 |
| Figure 3.4.17 : Usine de production de la charpente bois : Caillaud Lamellé Collé..... | 79 |
| Figure 3.4.18 : Implantation et contrôle des ferrures par scan 3D (XTU Architects, Retour d'expérience du BIM, 2016)..... | 80 |

6. Bibliographie

6.1. Généralités

Karen Kensek « Manuel BIM théorie et applications » Eyrolles, CSTB, 2015

Olivier Celnik, Eric Lebègue, « BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction », édition Eyrolles, CSTB, 2014

Institut National Polytechnique de Lorraine Mémoire de Master Design Global, spécialité « Architecture Modélisation Environnement » AmineMHAMED.pdf."

Stéphane MOR « Quel business model pour un intermédiaire de l'innovation dans le contexte du BIM ? » thèse, 2015

Bertrand DELCAMBRE « rapport_mission_numerique_batiment.pdf ».

http://www.logement.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_mission_numerique_batiment.pdf.

Olivier TOMMASINI « rapport-preconisations-simplifications-reglementaires.pdf », 2013

http://www.ffbatiment.fr/Files/pub/Fede_N00/NAT_ACTUALITES_3218/ea6bc8c45d50401d8d7a7b19922f1930/PJ/rapport-preconisations-simplifications-reglementaires.pdf.

François Pellegrin « bim-gestion-du-patrimoine-contribution-.pdf ».

<https://bimgestiondupatrimoine.files.wordpress.com/2013/09/bim-gestion-du-patrimoine-contribution-franc3a7ois-pellegrin.pdf>.

IT FFB, « Maquette numérique - BIM - bimsbook.pdf », 2009

<http://www.laurenti.com/publis/bimsbook.pdf>.

« Apprendre le BIM, se former au BIM ».

<http://www.objectif-bim.com/index.php/apprendre-le-bim>.

UNSFA. "BIM : La Montée En Puissance | UNSFA - Le Syndicat Des Architectes."

<http://syndicat-architectes.fr/evenements/bim-la-montee-en-puissance/>.

"BIM Modèle | BIM, TIC & Logiciels."

<https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/48443/filename/idx.html>.

"LeBIMKD-V6.pdf."

http://193.48.79.10/cg06_v3/cms/plan_climat_06/upload/File/Docs/trophees2013/LeBIMKD-V6.pdf.

6.2. Méthodologie et gestion de projet

Sihem Ben Mahmoud, Jouini, « Co-conception et savoirs d'interactions », PUCA, 2003

Jean-Jacques Terin « Qualité, conception, gestion de projet », Plan urbanisme, construction, architecture, 1998

Philippe Dehan « Qualité architecturale et innovation », Plan urbanisme, construction, architecture, 1999

Patrick Dupin, « Le LEAN appliqué à la construction » Eyrolles, collection Blanche BTP, 2014

« BIM-IFC : l'espace de collaboration entre maîtrise d'œuvre et maîtres d'ouvrage pour un meilleur traitement durable du bâtiment - Le processus de conception ».

http://www.unit.eu/cours/bim/u09/co/u09_080_9-6-1.html.

Mediaconstruct « guide-methodologique-convention-bim-mediaconstruct.pdf ».

<http://www.mediaconstruct.fr/Portals/0/Fichiers/mission-numerique/guide-methodologique-convention-bim-mediaconstruct.pdf>.

Shahinaz Sayagh, Agnès Jullien et Anne Ventura, Rôle des acteurs dans le processus d'élaboration de projets routiers Analyse de l'approche opérationnelle et recherche de critères décisionnels, 2015

<http://developpementdurable.revues.org/6283>

6.3. Cadre réglementaire

"BIM et Marchés Publics: Comment S'y Prendre ? | La Lettre Du BIM."

<http://www.lalettredubim.com/bim/bim-et-marches-publics-comment-sy-prendre/>

"Guide_pour_l_org_et_la_gestion_contractuelles_mde_tvx.pdf."

http://www.fntp.fr/upload/docs/application/pdf/2012-10/guide_pour_l_org_et_la_gestion_contractuelles_mde_tvx.pdf.

http://www.marchespublicspme.com/avant-la-reponse/les-procedures-de-marches-publics/articles-de-reference/2007/01/22/les-differentes-procedures-de-marches-publics_1256.html

"nA04a_Marches.pdf."

http://media.xpair.com/auxidev/nA04a_Marches.pdf.

"ProcedureConception-Realisation.pdf."

http://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/daj/marches_publics/conseil_acheteurs/fiches-techniques/preparation-procedure/procedure-conception-realisation.pdf

6.4. La Cité des Vins et des Civilisations

Bertrand CANIGIANI et Hervé DISCLYN « Le BIM en débat - une nouvelle révolution technique à ne pas manquer » CRT NOBATEK VINCI, 2014

Denis Bachmann et Anouk Legendre « Retour d'expérience du BIM sur la Cité du Vin à Bordeaux, conçue par XTU Architects », 2016

ALLOUCH Sarah, « Synthèse Tout Corps d'Etat de la Cité des Civilisations du Vin à Bordeaux », PFE, 2014

6.5. Le BIM Décathlon

BIM-BOX Projet lauréat issue du concours du BIM Décathlon 2015 par Astus Construction

<https://prezi.com/i-vwst7sxd8x/bim-box/>

6.6. Conférence

Conférence par Untec, « BIM pour une ingénierie concourante » Jean Paul Treheb

Vidéoconférence Assemblée Générale UNGE 2015 : Atelier de formation "BIM / la maquette numérique"

<https://www.youtube.com/watch?v=DkuYo4kgR-A>

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