

L'accès au BIM pour les petites et moyennes agences d'architecture : méthodologie et interopérabilité

Auteur : David, Damien

Promoteur(s) : Leclercq, Pierre

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil architecte, à finalité spécialisée en ingénierie architecturale et urbaine

Année académique : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/5325>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

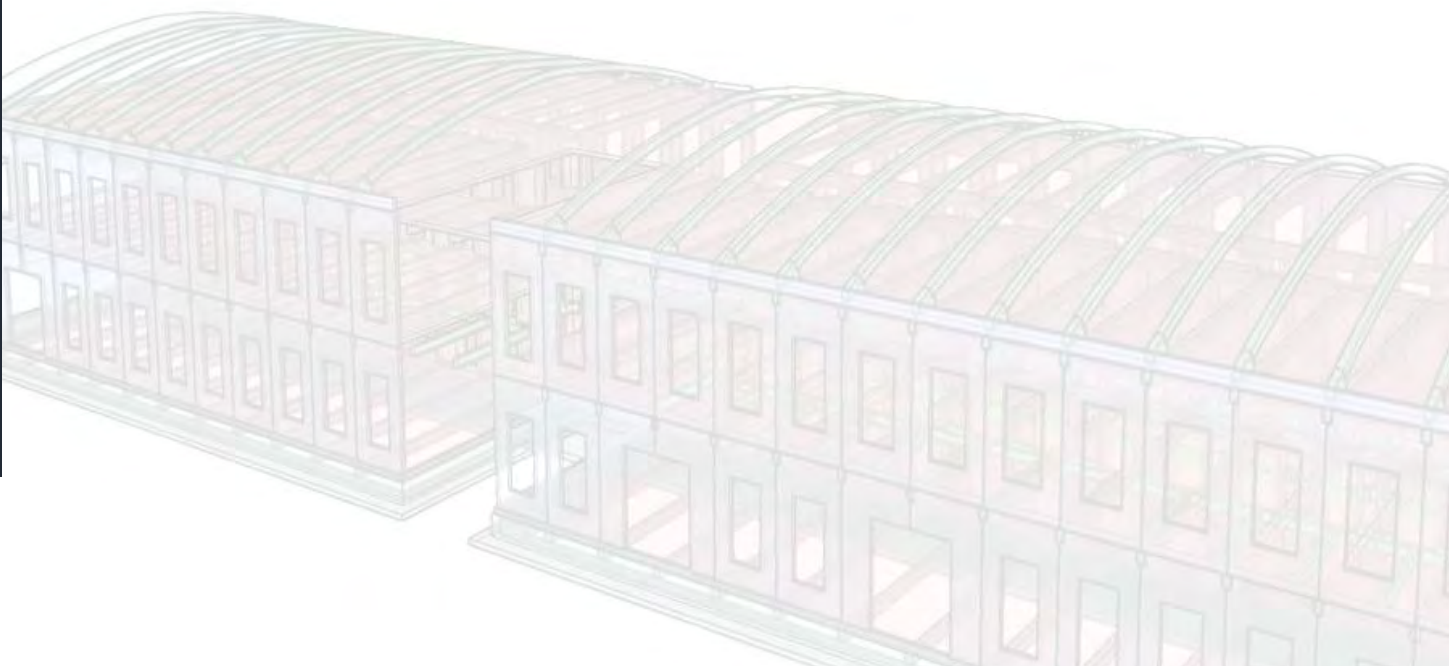
L'ACCÈS AU BIM POUR LES PETITES ET MOYENNES AGENCES D'ARCHITECTURE : MÉTHODOLOGIE ET INTEROPÉRABILITÉ

Mémoire de fin d'étude réalisé en vue de l'obtention du grade
de Master Ingénieur Civil Architecte réalisé par Damien DAVID

Année académique 2017-2018

Promoteurs : Pierre Leclerc et Samia Ben Rajeb

Composition du jury : Xaviera Calixte, Adrien Gautier et John Schrayen



RÉSUMÉ

Fruit d'un espoir de regain de productivité dans l'industrie du bâtiment et de l'arrivée des nouvelles technologies, le BIM (Building Information Modeling) connaît un développement grandissant chez tous les acteurs de la construction. Ce nouveau processus de conception basé sur la coordination et la collaboration s'aide des nouveaux outils d'information et de communication pour créer un environnement intégré à tous les participants d'un projet. Toutefois l'accès à de tels moyens, notamment liés aux logiciels, a un coût important. Dans un marché où la plupart des structures d'architecture sont de petites tailles, les grandes agences profitent de leurs ressources plus importantes pour tirer leur épingle du jeu et renforcer leur position à l'aide du BIM. Ce développement à deux vitesses pose un problème de taille étant donné que les maîtres d'ouvrages (publics ou non) sont de plus en plus nombreux à inciter une conception BIM, notamment les pouvoirs publics avec la mise en place d'objectifs gouvernementaux. Comment faire en sorte que les petites agences d'architecture puissent elles aussi accéder au BIM sans pour autant investir massivement? L'investissement est notamment lié à l'achat et à la maîtrise de solutions informatiques permettant de créer la maquette numérique, outil principal de toute démarche BIM. Ce modèle informatique regroupe toute l'information relative au projet et nécessaire pour sa réalisation. Il est donc légitime de se demander s'il existe un moyen pour les petites structures de créer leur maquette numérique à un coût raisonnable. Ce travail de fin d'études explore les solutions actuelles et propose une méthodologie adaptée aux petites agences grâce à un logiciel tout public, non spécialisé en architecture, bien plus accessible : SketchUp. Cette méthode retrace l'ensemble des besoins nécessaires à l'élaboration du modèle 3D intégré au processus BIM et permet de proposer une solution alternative à la conception BIM, plus particulièrement à la réalisation de la maquette numérique.

ABSTRACT

The fruit of a hope of renewed productivity in construction and the arrival of new technologies, BIM is experiencing growing development among all players in the building industry. This new design process based on coordination and collaboration uses new information and communication tools to create an integrated environment for all project participants. However, access to such means, particularly software-related, has a significant cost. In a market where most architectural structures are small in size, larger agencies are taking advantage of their larger resources to make their mark and strengthen their position with BIM. This two-tier development poses a major problem given that an increasing number of project owners (public or not) are encouraging a BIM design, in particular public authorities with the implementation of government objectives. How can small architectural firms also gain access to BIM without making massive investments? The investment is notably linked to the purchase and mastery of IT solutions enabling the creation of the digital model, the main tool of any BIM approach. This computer model gathers all the information related to the project and necessary for its realization. It is therefore legitimate to ask whether there is a way for small structures to create their digital model at a reasonable cost. This work explores current solutions and proposes a methodology adapted to small agencies thanks to a software all public, not specialized in architecture, much more accessible: SketchUp. This method traces all the needs necessary for the elaboration of the 3D model integrated into the BIM process and allows to propose an alternative solution to the BIM design and more particularly to the realization of the digital model.

REMERCIEMENTS

Par ces quelques lignes, je souhaite remercier les personnes qui m'ont encadré et accompagné durant la réalisation de ce TFE.

Tout d'abord, je voudrais remercier en particulier mes promoteurs, Pierre Leclerc et Samia Ben Rajeb, qui m'ont guidé durant une année pour la création de ce mémoire.

Je souhaite également remercier chaleureusement Xaviera Calixte pour m'avoir suivi et aidé tout au long de ce projet ainsi que John Schrayen, Anabelle Rahhal, Adien Gautier et Anne Commeaux pour leurs conseils avisés et leurs partages d'expériences.

Enfin je voudrais également remercier mes proches qui m'ont soutenu jusqu'à l'accomplissement de ce travail et notamment mes trois colocataires Baptiste, Matthieu et Quentin.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	5
CONTEXTE.....	5
PETITES STRUCTURES	5
PROBLÉMATIQUE.....	6
PLAN DU MÉMOIRE	6
ORIGINES DE LA MÉTHODOLOGIE	7
I. ÉTAT DE L'ART	8
I.1. LE BIM.....	8
I.1.1. Qu'est-ce que c'est ?.....	8
I.1.2. Implantation dans le monde.....	13
I.1.3. Intérêts	17
I.1.4. Limites	20
I.2. SITUATION ACTUELLE ET DÉVELOPPEMENT	23
I.2.1. Typologies des agences d'architecture.....	23
I.2.2. Le rôle de l'architecte dans le processus BIM	25
I.2.3. Pression des différents acteurs à l'utilisation du BIM	26
I.2.4. Développement du BIM dans les agences d'architectures	28
II. THÉMATIQUE ET QUESTIONS DE RECHERCHE	31
II.1. CONSTAT PRÉALABLE.....	31
II.2. LA MAQUETTE NUMÉRIQUE.....	32
II.2.1. Outil central du BIM	32
II.2.2. Les niveaux de développement.....	37
II.2.3. De la 3D à la nD	39
II.2.4. Interopérabilité	40
II.2.5. Structure des fichiers	42
II.3. CHOIX DU LOGICIEL.....	44
II.3.1. Acteurs du marché.....	44
II.3.2. Comparatif des principales solutions.....	45
II.3.3. SketchUp	48
II.4. QUESTIONS DE RECHERCHE.....	49

III. MÉTHODOLOGIE ET APPLICATION	50
III.1. STRATÉGIE DE MODÉLISATION.....	50
III.1.1. Objectifs et étapes	50
III.1.2. Principe.....	53
III.2. PRÉPARATION DU FICHIER.....	55
III.2.1. Point de référence	55
III.2.2. Création des calques.....	56
III.2.3. Création d'une base de données.....	57
III.2.4. Informations relatives au projet.....	58
III.3. MODÉLISATION	60
III.3.1. Topographie.....	60
III.3.2. Modélisation d'un élément.....	61
III.3.3. Collaboration et coordination.....	74
III.4. EXTRACTION ET PARTAGE DES DONNÉES	79
III.4.1. Export de la maquette.....	79
III.4.2. Création des pièces graphiques	83
III.4.3. Mètres ou ITO (Information TakeOff).....	90
III.5. DISCUSSIONS	100
III.5.1. Une méthodologie adaptable et adaptée	100
III.5.2. Pour aller plus loin	101
III.5.3. Une solution d'avenir ?	103
CONCLUSION	104
TABLES DES RÉFÉRENCES	106
BIBLIOGRAPHIE	106
TABLE DES FIGURES	108
TABLE DES TABLEAUX.....	110
TABLE DES GRAPHIQUES.....	110

INTRODUCTION

Contexte

Depuis de nombreuses années l'industrie du bâtiment essaie d'innover et de s'adapter aux enjeux de notre société moderne. En retard par rapport à d'autres domaines (automobile, textile, agriculture...) qui ont su moderniser leurs processus de conception dans le but d'être plus efficaces, la complexité et la diversité des projets architecturaux ont freiné la possibilité pour celui de la construction de trouver une voie vers une productivité plus importante grâce aux nouvelles technologies. Nous parlons ici des NTIC, ou nouvelles technologies de l'information et de la communication, qui désormais occupent une place primordiale dans les process de management des différentes industries.

C'est dans ce contexte que se développe le BIM (Building Information Modeling), qui se traduit mot par mot par la modélisation des informations du bâtiment. Ce terme met en avant l'importance des échanges d'information relative à la construction au moyen d'une modélisation intelligente du projet. Cette nouvelle méthode de management, appuyée par des outils spécialisés performants, a pour but d'amener le domaine de la construction dans une ère où la collaboration serait le maître mot de la conception. Le but étant principalement de coordonner les acteurs de manière plus efficace dans l'idée de mieux concevoir. Cet enjeu est crucial, car au-delà de la qualité architecturale qui s'améliore, cette méthode permet aux différents acteurs de gagner en productivité et donc réaliser des économies substantielles.

Durant toute la durée de vie d'un bâtiment, le BIM intègre les différents acteurs autour d'un même modèle et facilite les échanges entre eux. Pendant la conception, les intervenants peuvent concevoir sur une maquette commune et ainsi assurer une totale coordination des différents corps de métier. La construction est rendue plus intuitive avec une visualisation des étapes et une planification de chantier adaptées aux modifications apportées. Enfin, le BIM s'invite également dans la gestion des bâtiments, neufs ou non, après construction avec des outils de maintenance et d'entretien. Un suivi et une mise à jour performants des informations du bâtiment, à l'aide d'une maquette numérique, sera d'une grande utilité lors de rénovations futures.

Petites structures

Ces nouvelles méthodes de management ont un coût, tant sur le plan humain que matériel. L'investissement est de taille et n'est pas forcément à la portée de tous et notamment des petites structures. Un tel changement implique des formations nécessaires pour se mettre à niveau et également l'adoption de nouveaux outils spécialisés efficaces mais onéreux permettant de pouvoir travailler correctement avec le BIM. Il faut également pour les entreprises adapter leurs méthodes de travail pour qu'elles puissent entrer dans une démarche collaborative. Cette partie management du BIM est la clef de la réussite mais dépend énormément de la structure dans laquelle on se place et il n'existe pas forcément de méthode universelle pour y parvenir. Cela prend du temps et se précise au fur et à mesure

des projets et évolue à une vitesse dépendant principalement des moyens que l'on met en œuvre. Dans un marché où la quasi-totalité des acteurs sont de petites entreprises, qui n'ont pas les ressources nécessaires pour changer rapidement leurs façons de travailler, les grandes structures tirent leur épingle du jeu en investissant massivement dans le BIM.

La pression émise par les acteurs incite de plus en plus les architectes à se lancer dans des projets réalisés en BIM. Que ce soit pour des raisons économiques, pratiques ou même un effet de mode, les maîtres d'ouvrages (publics ou non) requièrent l'utilisation du BIM de manière plus systématique. Le marché et les demandes se spécialisent donc vers cette nouvelle méthode et laissent de côté ceux qui ne peuvent pas se mettre à jour. Les grandes agences quant à elles peuvent prétendre à l'obtention de projets BIM dans la mesure où ils sont en train de devenir leaders du domaine. Ce cercle vertueux pour les uns et vicieux pour les autres écarte de plus en plus du marché les petites structures.

Problématique

Pour pallier ce problème de taille, les petites structures doivent trouver le moyen de s'adapter au BIM sans pour autant se mettre en difficulté. C'est notamment sur les outils et le matériel nécessaires qu'ils pourront effectuer leurs « économies ». Le volet management du BIM résulte plus d'une réflexion interne et d'une modification des processus, ce qui est variable d'une structure à l'autre et non aisé à quantifier. La fonction principale des outils est l'aide à la création de la maquette numérique, une base fondamentale de la démarche BIM. Cette maquette accompagne le projet du début à la fin de la vie du bâtiment et contient toute l'information nécessaire au bon déroulement des différentes phases de conception, construction et utilisation. Il est donc nécessaire qu'elle soit correctement réalisée. Contrairement à la gestion des projets, il est possible d'établir une méthodologie pour mener à bien la production d'un modèle 3D intelligent. Cela dépend des besoins (des différents acteurs) mais également de l'outil ou logiciel utilisé qui sont très chers pour des agences de petites tailles. Il convient donc de trouver une solution abordable permettant une modélisation BIM de qualité et adaptée à une grande variété de projets.

Plan du mémoire

Ce mémoire s'articulera en trois temps. Une première partie sera consacrée à l'étude du BIM, à savoir le contexte actuel ainsi qu'un bref historique, la ou les définitions, son implantation dans le monde associée aux décisions gouvernementales, ses intérêts et ses limites. Dans ce chapitre nous aborderons également le rôle de l'architecte dans la démarche BIM ainsi qu'une étude de la typologie des structures présentes sur le marché. Ensuite, nous établirons un constat préalable avant de définir nos questions de recherche à l'aide de l'étude des maquettes numériques et d'une étude de marché sur les solutions logicielles actuellement présentes. Enfin, le cœur de ce mémoire sera présenté dans la dernière partie. Nous proposerons une méthodologie associée à un exemple permettant de répondre aux questions posées. Ce chapitre aura pour vocation d'offrir une alternative de conception de maquette numérique à moindre coût pour les architectes et notamment les petites structures.

Origines de la méthodologie

Il convient de noter que la méthode proposée a été conçue par une démarche d'essais-erreurs. Avant la réalisation de ce projet, les différents exercices (universitaires ou non) ont permis d'atteindre un tel objectif. Nous nous sommes également inspirés d'expériences professionnelles afin de pouvoir développer ce processus. Chacune a eu un impact sur la conception de ce TFE, que ce soit dans le questionnement ou dans sa solution. Pour entrer un peu plus dans le détail, un stage en tant que BIM Manager dans une grande entreprise de construction nous a permis de nous plonger de manière plus approfondie dans le BIM et dans la gestion des maquettes numériques. Un autre dans une petite agence architecture nous a montré les limites d'expertise des grands logiciels BIM mais aussi les besoins d'une telle structure. Enfin une expérience totalement différente en tant qu'élève moniteur pour le cours de modélisation architecturale a su éveiller notre curiosité quant aux possibilités de ce logiciel SketchUp.

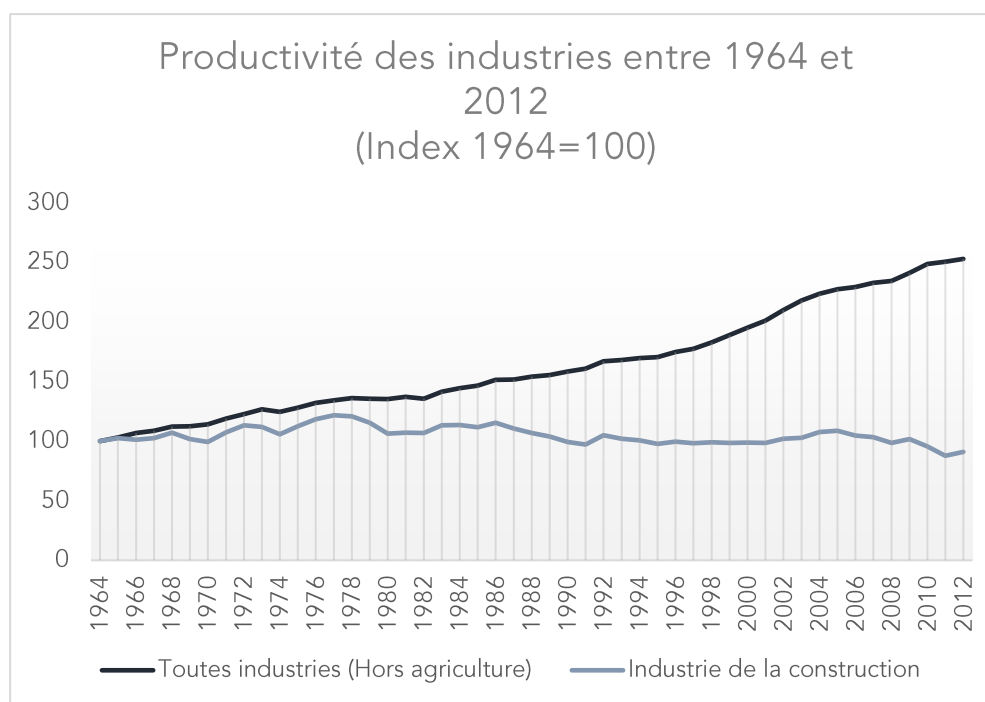
I. ÉTAT DE L'ART

I.1. Le BIM

I.1.1. Qu'est-ce que c'est ?

i. Contexte

Avant d'aborder la notion de BIM (Building Information Modeling), il est important d'en définir les origines et le contexte dans lequel cette nouvelle méthode de travail est née. Tout part d'un constat des cinquante dernières années sur la productivité dans le domaine de la construction. Comparée aux autres industries qui ont su intégrer dans leur processus des nouveaux procédés de fabrication (automatisation, gestion des données...), la construction est restée assez traditionnelle dans sa conception et sa réalisation. Cette attitude liée à la complexité et à la diversité des ouvrages (Ahmed, Emam, & Farrell, 2014) ainsi qu'à la multitude d'acteurs au sein d'un projet a retardé son entrée dans la 3^{ème} révolution industrielle, celle des technologies de communication et de la gestion automatisée. Ainsi une étude de Paul Teicholz (2013) du CIFE (Center for Integrated Facility Engineering – Stanford University) montre une grande divergence entre l'évolution de la productivité industrielle (tous secteurs confondus hors agriculture) d'une part et celle de la construction d'autre part (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008).



Graphique I-1 - Productivité des industries entre 1964 et 2012 (BLS, US dept. Of Commerce, 2013)

Le graphique ci-dessus met en évidence la stagnation de la productivité de la main d'œuvre dans le domaine de la construction aux États-Unis. Le reste des industries ont vu leur productivité nettement augmentée, pratiquement multipliée par 2.5, grâce en particulier à l'automatisation, à l'utilisation de systèmes d'information et à de meilleurs outils de collaboration (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008). Le phénomène s'explique aussi par

un investissement lourd et nécessaire qui n'est pas forcément à la portée de tous et notamment pour les petites structures qui représentent une part très importante du marché (voir I.2.1). Le besoin de rentabilité dans un environnement très concurrentiel a obligé les acteurs à développer des nouvelles méthodes de conception et de réalisation.

ii. Définition

Le BIM connaît beaucoup de définitions et cela pose souvent le problème de la compréhension du concept même pour nombre d'acteurs de la construction. Officiellement l'acronyme est **Building Information Modeling** mais au cours des années il s'est traduit par plusieurs variantes afin de rendre compte d'une réalité plus complexe. En effet, le « *M* » peut désigner à la fois « *management* » pour décrire la partie organisationnelle, « *model* » pour la maquette 3D associée ou encore « *modeling* » pour la façon de modéliser les informations d'un bâtiment (Le Moniteur, 2014). La traduction francophone donne encore lieu à d'autres possibilités par la polysémie des mots anglais utilisés (le mot *modeling* par exemple peut être traduit par modéliser, organiser, agencer...). C'est une des raisons pour laquelle on ne retrouve pas d'acronyme équivalent en français.

Il n'existe pas de définition exacte ou universelle permettant de prendre en compte tous les enjeux de la démarche tellement son impact est grand et partagé par plusieurs domaines (architecture, ingénierie, construction, informatique...). Beaucoup de spécialistes du secteur s'accordent à dire que le BIM (Building Information Modeling) n'est pas un outil ou un programme informatique mais un processus qui s'étend sur toute la durée de vie d'un bâtiment. Pour reprendre une définition d'Abdelkader Boutemadja, enseignant et chercheur à l'université de Liège, « Le BIM est une manière intégrée de travailler, permettant une conception, une exécution et une gestion du bâtiment » (2017, p. 4). Il convient de préciser que le mot « intégrée » regroupe à la fois la collaboration et le partage d'information permettant ainsi de donner une définition assez vague mais qui rend bien compte de la réalité. D'autres plus pragmatiques définissent le BIM comme étant simplement de la gestion d'information pour améliorer la compréhension d'un projet (Dastbaz, Gorse, & Moncaster, 2017). En définitif retenons que le BIM peut être défini par un processus permettant de collaborer de manière transversale entre les corps de métier mais également tout au long de la durée de vie d'un projet à l'aide notamment d'une maquette numérique.

iii. Historique

Même s'il n'apparaît pas aujourd'hui comme encore mature (Valente, Ce que n'est pas le BIM, 2018), l'origine de BIM remonte à quelques décennies. Il a été le fruit d'une évolution lente mais logique. Du dessin à la main, nous sommes passés dans les années 60 au dessin assisté par ordinateur (CAD - Computer Aided Design - ou CAO - Conception Assistée par Ordinateur - en français). Cette première révolution qui a mis une vingtaine d'années à se démocratiser au sein du secteur a marqué le début de l'informatisation de la conception (Dastbaz, Gorse, & Moncaster, 2017). Charles Eastman, architecte de formation, développe l'ancêtre du BIM, le Building Description System ou BDS (1975), avec son équipe de

l'université de Carnegie-Mellon. En avance sur les modes de conception de l'époque, il perçoit l'intérêt de modéliser le bâtiment par des objets ayant une signification et d'intégrer l'information nécessaire à ces éléments. Cependant, les limites technologiques sont assez vite atteintes pour représenter un modèle complexe et les solutions de l'époque ne sont pas suffisantes (logiciels et puissance de l'ordinateur) pour répondre à un tel enjeu (Eastman C. M., 1975). Par la suite, ce sont les éditeurs de logiciels spécialisés qui ont continué dans cette lancée avec des programmes permettant de concevoir en trois dimensions et d'appréhender le dessin avec une méthode orientée objet, c'est-à-dire que l'on ne dessine plus des lignes mais bien des objets comme des murs ou des planchers. Ces logiciels OOCAD (Object-Oriented Computer Aided Design), basés sur la logique BDS ont marqué le début de la conception « intelligente » avec des maquettes permettant la relation entre des objets (une porte liée à un mur par exemple) ou encore l'extraction d'informations.

La partie « management » du BIM est apparue depuis les années 2000 avec les avancées technologiques et surtout la démocratisation de l'internet. Les entreprises de la construction ont exploité (comme tous) très rapidement ce nouveau moyen d'échange. Cependant la façon de faire n'était pas optimale et engendrait énormément de surcoûts, à la fois en conception et en réalisation. Le besoin de rentabilité (I.1.1.i) et les progrès technologiques ont mené à une méthode de travail intégrée où tous les acteurs collaborent autour d'un même environnement (maquettes, plans, base de données).

iv. *Le BIM : une organisation*

Le BIM (Building Information Modeling), même s'il est lié de manière évidente aux améliorations logicielles et à la création de nouveaux outils, reste avant tout « une organisation qui développe des processus permettant de construire un modèle partagé » (Le Moniteur, 2014, p. 41). En effet, la nécessité de se coordonner autour d'un même modèle est une étape clé qui est pourtant peu évidente à maîtriser au sein d'une équipe. C'est là une des principales sources de problème à l'usage du BIM, il faut que tous les acteurs d'un projet puissent évoluer de manière cohérente les uns avec les autres pour que le processus puisse réussir. C'est pourquoi la mise en place d'un protocole commun permet d'atteindre cet objectif. En comparaison avec un flux de travail traditionnel (workflow, anglicisme plus souvent utilisé), celui du BIM se démarque avec une implication des acteurs dès le début du projet de conception en incluant notamment les futurs gestionnaires du bâtiment. Le schéma ci-dessous met en évidence ce principe en comparant les deux méthodes.

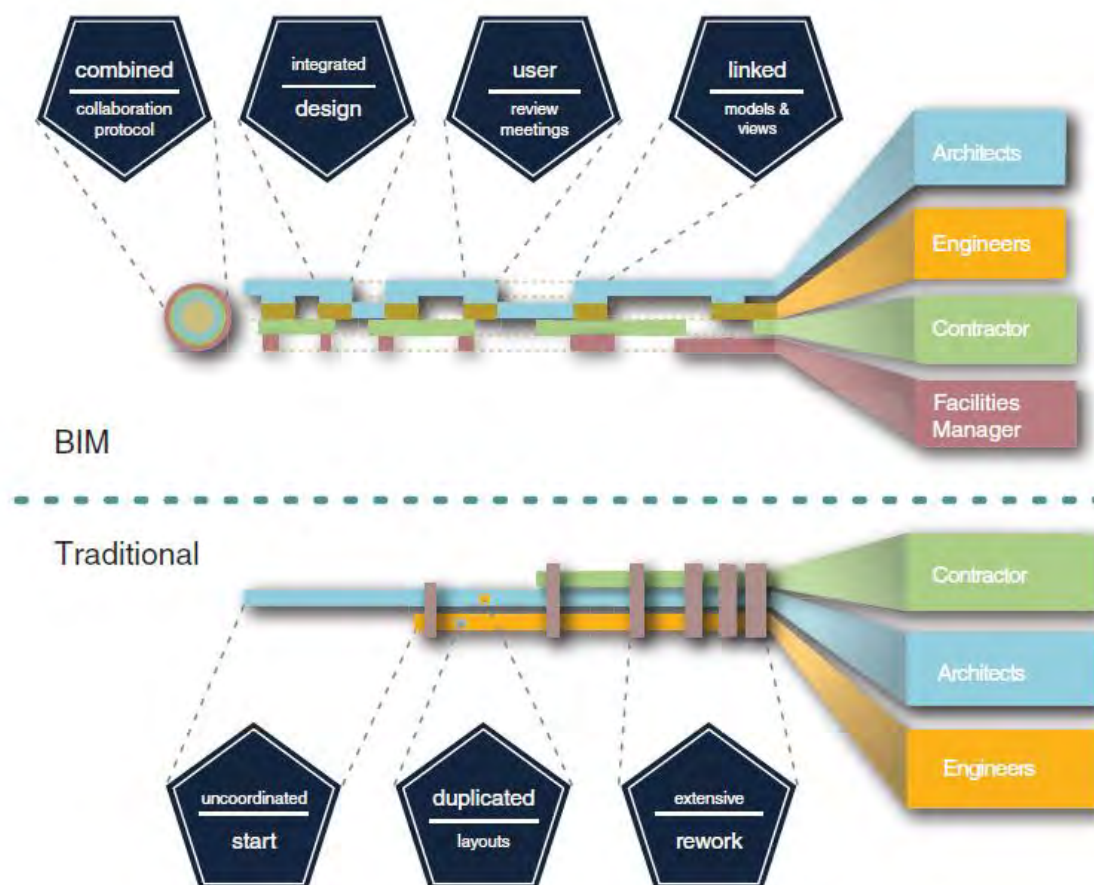


Figure I-1 – Complexité de la structure organisationnelle (Holzer, 2016)

La collaboration au sein d'un projet en suivant un protocole bien défini permet à la fois d'éviter beaucoup d'erreurs liées à une mauvaise transmission de l'information mais aussi à chacun de disposer de la même information et ainsi d'éviter les incohérences entre les acteurs du projet. Le BIM va donc occuper une place centrale dans la communication des différentes équipes. L'information qui auparavant transitait d'un acteur à un autre de manière ponctuelle sans que d'autres partis puissent avoir connaissance des avancements est progressivement remplacée par une organisation centralisée où toute l'information nécessaire est disponible pour chacun. Cette solution permet également le transfert de documents directement utilisables et évite donc tout ajout de travail sans réelle valeur ajoutée (répétition, perte de documents, erreurs...) (Dastbaz, Gorse, & Moncaster, 2017).

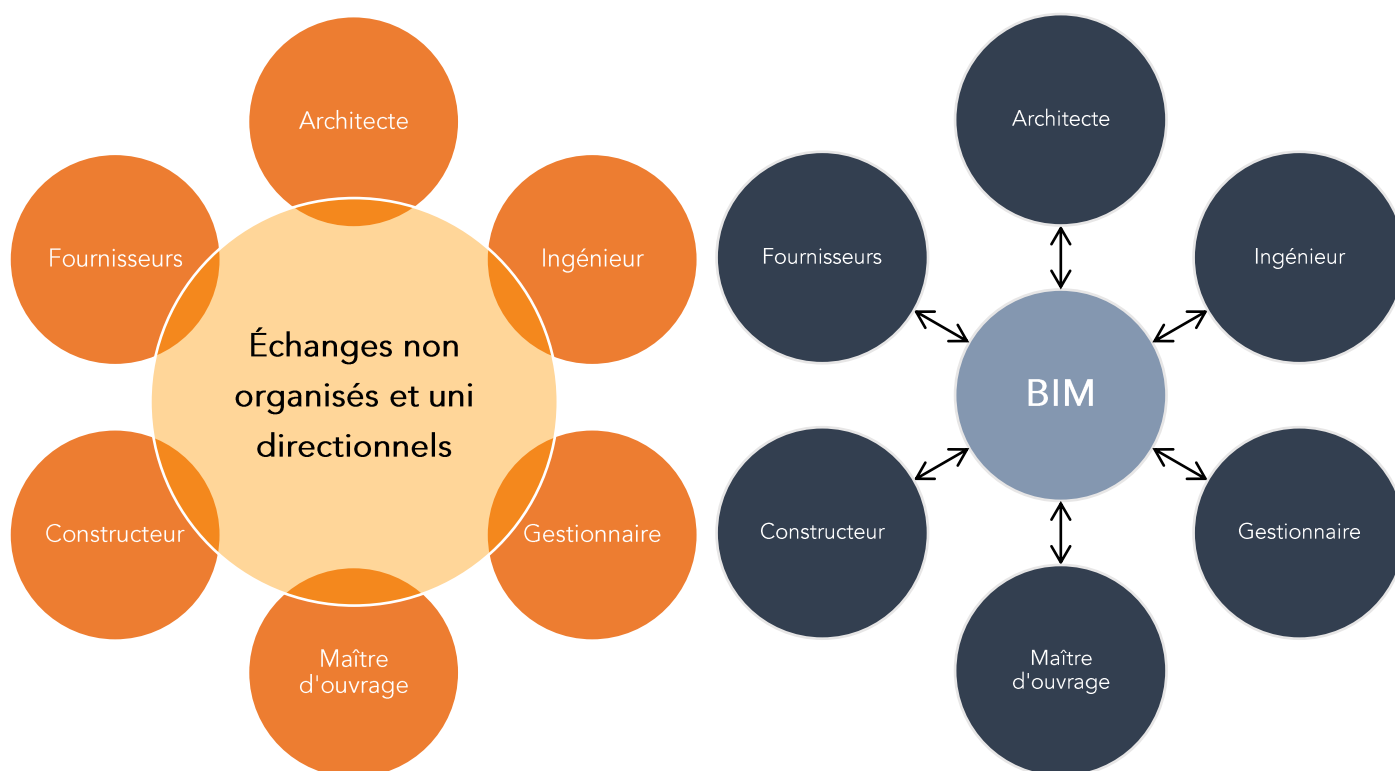


Figure I-2 - Schématisation de l'échange d'informations entre les acteurs d'un projet

Bien évidemment, les protocoles de collaboration ne sont pas forcément les mêmes en fonction des acteurs et du niveau de BIM que l'on veut atteindre (voir I.1.2.i).

v. La maquette numérique : l'outil du BIM

Afin de pouvoir assurer une collaboration optimale, il faut que les outils associés soient performants et adaptés. Paradoxalement, comme nous l'avons vu précédemment (I.1.1.iii), c'est l'outil qui a incité le changement au BIM car il était nécessaire à son développement. La création d'un modèle avec des objets paramétriques intelligents (contenant relations et information) permet d'assurer la base pour la collaboration entre les partis d'un même projet (Migilinskas, Popov, Juocevicius, & Ustinovichius, 2013). La maquette suit le projet du début jusqu'à la fin de vie d'un bâtiment, ce qui en fait un outil très puissant. En effet, très peu détaillée au départ elle est complétée au fur et à mesure de l'avancement pour enfin être finie au moment de la livraison du chantier et peut ainsi servir de base solide pour les gestionnaires du bâtiment qui pourront la faire évoluer dans le temps en fonction des modifications apportées à l'édifice.

Au-delà de l'information embarquée, une représentation totale en trois dimensions permet une meilleure compréhension du projet et notamment pour ceux qui ne l'ont pas conçu.

I.1.2. Implantation dans le monde

i. Standards et objectifs gouvernementaux

Pour mieux appréhender les objectifs définis par le BIM, il a été défini plusieurs niveaux de maturité. Ces niveaux présentent généralement une base pour les institutions publiques ou privées concernant leurs attentes pour le marché correspondant. Il y donc quatre niveaux (pour le moment) représentant l'intégration du processus BIM au sein d'un projet (Agence Qualité Construction, 2016).

Niveau 0 Modélisation 2D	Niveau 1 Modélisation orientée-objet	Niveau 2 Modélisation orientée-modèle	Niveau 3 Modélisation orientée-modèle
<ul style="list-style-type: none"> • CAD le plus généralement • Echanges de pièces 2D sans information 	<ul style="list-style-type: none"> • Passage du 2D à la 3D • Interaction entre les représentations graphiques (plans, coupes, façades) 	<ul style="list-style-type: none"> • Collaboration permettant l'échange de maquette(s) entre les corps de métier • Information interactive sur les plans 2D et 3D 	<ul style="list-style-type: none"> • On parle ici de iBIM • Un seul modèle centralisé et partagé sur réseau ou cloud où tout le monde travaille dessus

Tableau I-1 - Les différents niveaux de BIM

Les standards sont primordiaux pour une bonne instauration du BIM et pour que chacun soit sur la même longueur d'onde (Smith, 2014). Le principal acteur pour l'élaboration et la mise en place de standards est l'agence BuildingSMART (anciennement IAI). Il s'agit en réalité d'une association internationale d'industriels, d'éditeurs de logiciels, d'institutions académiques et gouvernementales qui œuvre pour la mise en place au niveau mondial d'un BIM standardisé. On la retrouve dans divers pays dans des déclinaisons propres à chaque état en fonction de leur spécificité. Par exemple, il y en a une pour le Benelux ou encore pour la France sous le nom de Mediaconstruct. C'est notamment BuildingSMART qui est à l'origine de la création du format IFC (à partir de 1995) dont nous parlerons par la suite (Dastbaz, Gorse, & Moncaster, 2017).

Afin de parfaire l'implantation du BIM et d'en tirer les avantages, les gouvernements ont voulu également depuis quelques années encourager (ou imposer) l'usage du BIM à plus ou moins grande échelle dans leur pays. D'après l'étude du Dr. Peter Smith, sa « recherche a révélé que le facteur le plus critique pour la mise en œuvre du BIM est le leadership et la coordination de l'institution nationale pour maximiser l'efficacité et éviter les nombreux problèmes créés par des approches fragmentaires et disjointes » (2014). Chaque état a établi ou est en train d'établir sa propre stratégie, certains ayant pris de l'avance sur le sujet.

En effet, on retrouve quelques pôles moteurs dans l'instauration du BIM au niveau national. Les États-Unis apparaissent comme les pionniers avec un démarrage du BIM au début des années 2000 avec notamment la réalisation de la Freedom Tower en 2005 à Manhattan (Appéré, 2015) qui a marqué l'engouement des industriels notamment grâce à la gestion du timing et des coûts. D'autres pays, plus petits ont suivi très vite et ont réussi à développer

rapidement leur approche BIM à un niveau global comme les pays scandinaves (Norvège, Danemark et Finlande) grâce à un investissement précoce et à l'utilisation de logiciels spécialisés (ici principalement ArchiCAD). L'utilisation obligatoire et systématique du BIM par les entités publiques (entreprises responsables de la construction, de la gestion et du développement des installations publiques – comme Statsbygg en Norvège) ont permis une migration rapide et efficace vers le BIM (Smith, 2014). Un changement radical comme celui-ci étant plus facile dans les petits pays, Singapour a également fait le choix au début des années 2010 de réaliser les nouvelles constructions (marchés publics depuis 2013) avec une démarche BIM (Querel, 2016).

En Europe, la situation est plus particulière avec une volonté de l'Union Européenne de développer le BIM de manière globale à l'échelle du continent et quelques pays qui ont pris les devants. Une directive émanant du gouvernement européen (2014/24/UE sur la passation des marchés publics) de 2014 incite fortement ses 28 pays à utiliser le BIM à l'horizon 2016 (Le Moniteur, 2014). Certains pays comme la France ont pris acte de cette recommandation et ont au départ exigé puis recommandé d'utiliser le BIM dans les marchés publics en 2017 (Fédération Française du Bâtiment, 2016). Au final même s'il ne s'agit que d'une incitation, le marché demande de plus en plus de démarches BIM réclamées par les maîtres d'ouvrage.

Enfin un autre pays a su tirer son épingle du jeu en développant le BIM de manière unilatérale au sein de l'UE, le Royaume-Uni. Le BSI (the British Standards Institution) a développé assez rapidement, à la demande du gouvernement, toute une série de recommandations, codes de pratique pour la production collaborative ou encore standards pour la livraison de projet en BIM (PAS 1192) (Dastbaz, Gorse, & Moncaster, 2017). L'objectif fixé par l'État est d'atteindre un BIM Niveau 2 (voir Tableau I-1) pour les marchés publics de plus de 5 millions de livres. Cette cible ambitieuse a pu être réalisée en partie, notamment grâce à la mise en place d'outils d'aide à la collaboration (fichiers COBie par exemple) par l'institution NBS, dépendant de l'ordre des architectes du Royaume-Uni (RIBA - The Royal Institution of British Architects).

ii. Implantation

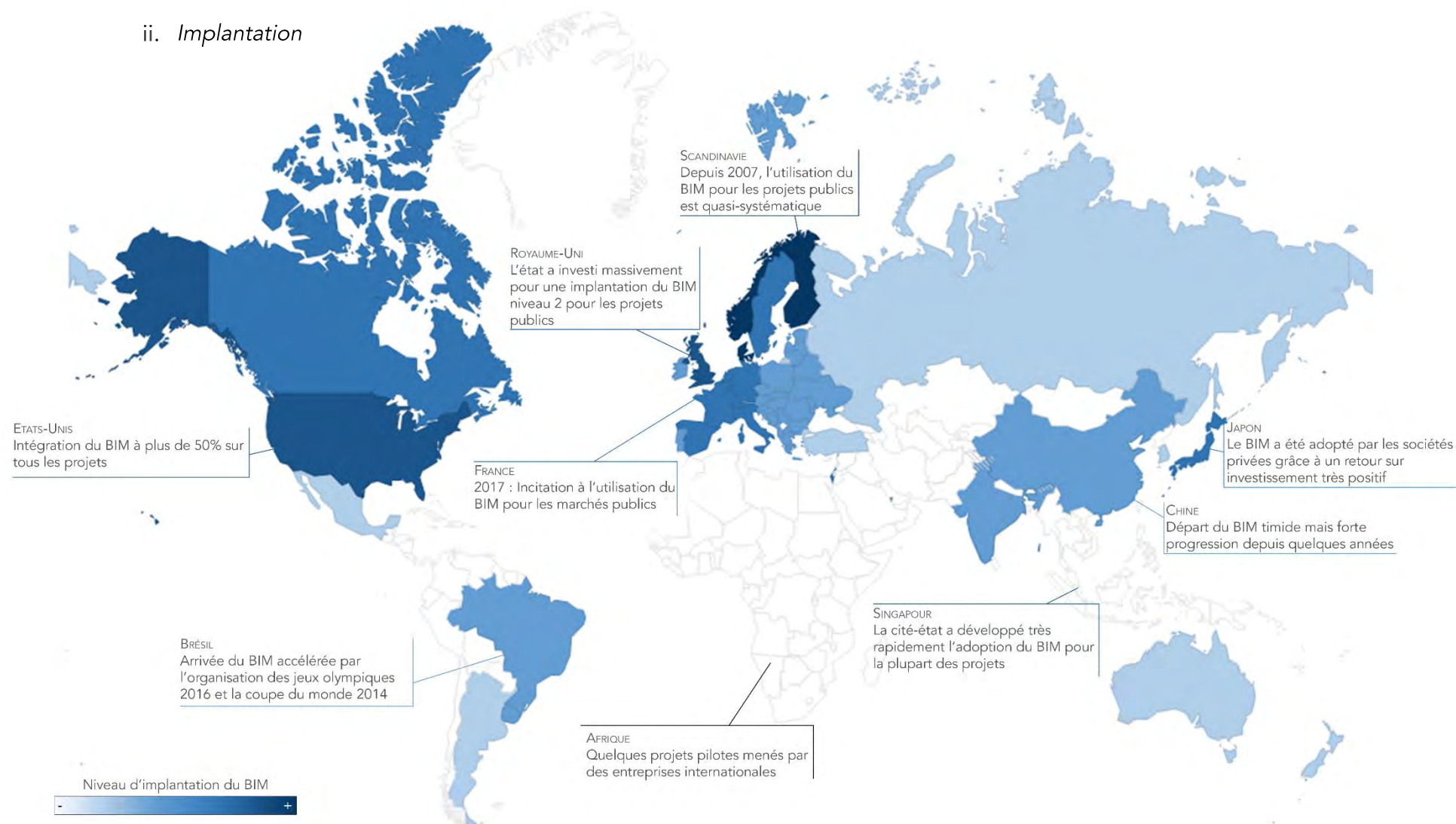


Figure I-3 - Implantation du BIM au niveau mondial

iii. L'IFC et autres formats libres d'échanges

Nous allons aborder ici, un des standards les plus utilisés en matière de BIM : le format IFC. Nous retrouvons cinq standards de base pour l'OpenBIM, développés par BuildingSMART, qui assurent chacun une fonction particulière dans la collaboration durant la durée de vie d'un projet. La plupart sont certifiés ISO, afin d'avoir une pérennité et une reconnaissance au niveau international.

NOM	STANDARD	UTILITÉ
IDM Information Delivery Manual	ISO 29481-1 ISO 29481-2	Définit une méthodologie d'échange d'informations entre les différentes parties
IFC Industry Foundation Classes	ISO 16739	Permet l'échange de données et d'informations. Format qui permet d'échanger des modèles BIM dans leur intégralité
BCF BIM Collaboration Format	buildingSMART BCF	Format qui permet l'échange de remarques ou de demandes de modifications à propos d'un projet.
IFD International Framework for Dictionaries	ISO 12006-3	Cadre structurel pour la création de bibliothèque d'élément ou de propriétés. L'universalité de la description et de son organisation permet de s'affranchir des barrières linguistiques et de lier différentes bases de données.
MVD Model View Definition	buildingSMART MVD	Associé au format d'échange d'IFC, il permet de définir les éléments à faire apparaître sur le modèle en fonction de l'approche souhaitée.

Tableau I-2 - Différents standards de l'OpenBIM (BuildingSMART, 2018)

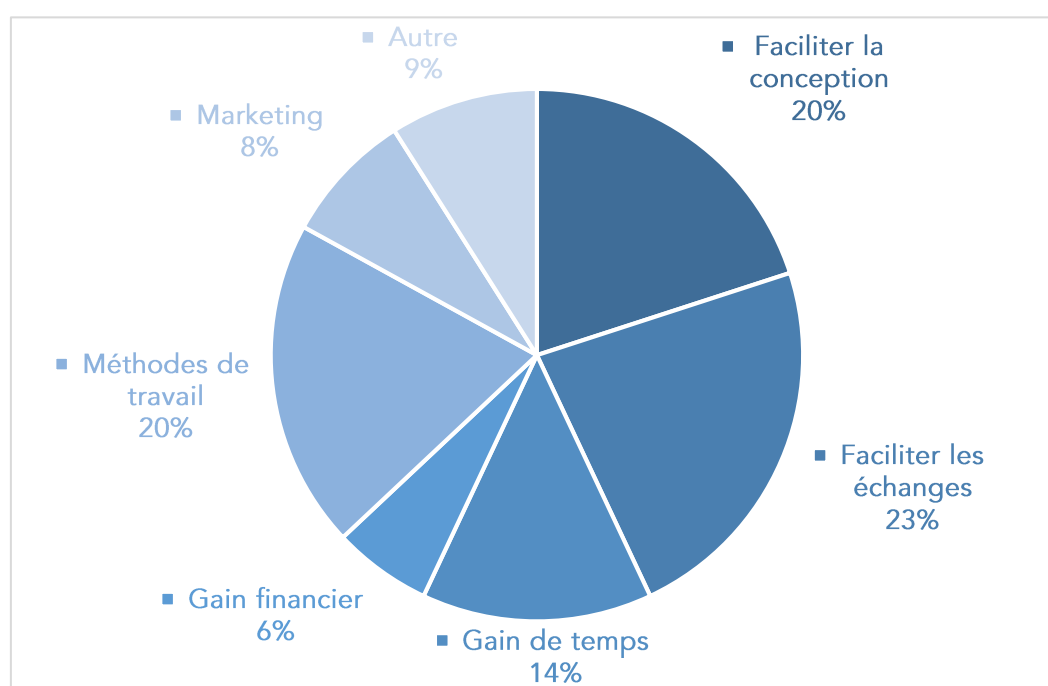
L'IFC est souvent considéré comme le standard de référence car il s'agit du format de fichier que l'on échange et qui est donc à la base de toute collaboration. Comme expliqué précédemment, il s'agit d'un format de modélisation orienté-objet. C'est-à-dire que chaque élément représente une réalité constructive et qu'on ne modélise pas de formes génériques sans relation avec le reste du modèle. Cependant, on ne peut pas modéliser directement en IFC, il s'agit juste d'un fichier d'import et d'export que l'on utilise sur des logiciels spécialisés comme Revit ou ArchiCAD.

Ce format reprend les différentes classes (ou familles) au sein d'un projet et ne cesse d'en ajouter des nouvelles pour correspondre aux enjeux constructifs et à l'avancée technologique des moyens de modélisation. On a par exemple des classes plus abstraites comme la structure d'un bâtiment (site, bâtiments, étages, pièces) où se trouve des classes représentant des éléments concrets (murs, dalles, portes, fenêtres). La structure du fichier, générée automatiquement par les logiciels, est ainsi faite pour correspondre à une logique organisationnelle et structurelle du bâtiment.

D'autres formats libres existent comme le XML ou gbXML mais sont moins utilisés actuellement et sont destinés à des utilisations directes comme les calculs énergétiques ou structurels.

I.1.3. Intérêts

Commençons par établir les intérêts du passage au BIM pour les agences d'architecture. Malgré un important engouement de la part des industriels, les architectes sont un peu plus réticents quant à son utilisation en ne voyant pas forcément les avantages à court terme. Cependant ceux-ci sont bien réels et permettent souvent un retour sur investissement (RSI) positif.



Graphique I-2 - Avantages liés à l'utilisation du BIM (Tranchant, 2016)

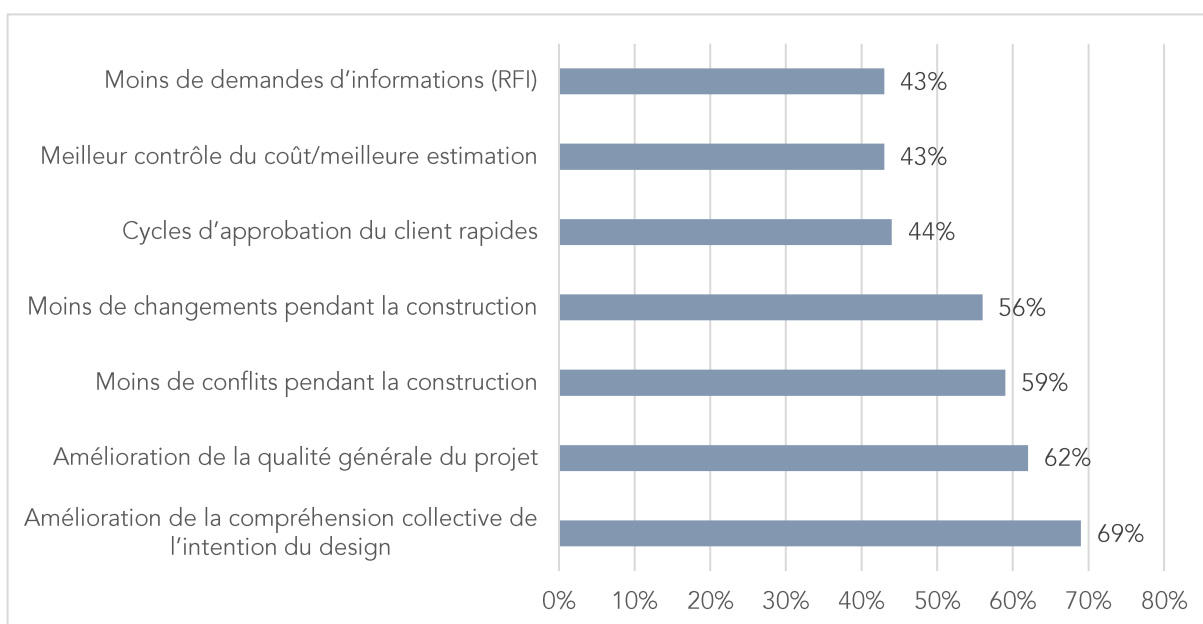
Le graphique ci-dessus reprend les principaux avantages liés à l'utilisation du BIM vus par les architectes. On peut les regrouper en plusieurs catégories, on retrouve des notions liées à la conception (Faciliter la conception et encore méthodes de travail) et d'autres à la collaboration (Faciliter les échanges et méthodes de travail). Des conséquences comme les gains financiers ou de temps représentant 20% sont aussi à prendre en considération. Enfin, un point important et non-négligeable est l'aspect marketing de la démarche.

i. Conception maîtrisée

Un des premiers avantages du BIM est sa capacité à détenir de l'information sur le projet de manière liée. C'est-à-dire que l'on va pouvoir très rapidement détecter les incohérences de conception, notamment grâce à l'utilisation massive de la 3D. Ces erreurs, non-visibles sur des plans 2D généralement, peuvent donc amener à des situations compliquées en phase de chantier et des surcoûts éventuels. L'information embarquée permet également de pouvoir avoir accès en permanence et de manière automatique aux données du bâtiment et ainsi maîtriser le coût de construction ou encore la durée du planning (Dastbaz, Gorse, & Moncaster, 2017).

ii. Collaboration

Un autre aspect, le plus important même, est celui de la collaboration. C'est en partie la raison pour laquelle le BIM a été créé. En effet, à condition d'utiliser et de maîtriser les bons outils, l'échange d'informations à propos du projet devient optimal. Il ne s'agit pas ici de dire que cela devient plus simple mais que les démarches BIM mises en place permettent une meilleure compréhension collective du projet. Selon une étude effectuée par McGraw-Hill Construction (2010), près de 70% des personnes interrogées (Architectes, constructeurs, industriels, ingénieurs...) estiment que le BIM améliore « la compréhension collective de l'intention du design ». On retrouve les autres résultats de l'étude dans le graphique ci-dessous.



Graphique I-3 - Avantages du BIM apportant la plus grande valeur, (McGraw-Hill Construction, 2010)

On peut voir également que d'autres points positifs sont étroitement liés à la construction et donc à la coordination et à la préparation de la phase chantier. Tout ceci résulte d'un échange d'informations efficace en amont lui-même induit par une meilleure collaboration entre les différents acteurs. C'est d'ailleurs le point principal sur lequel les entreprises misent le plus, ils sont plus de 44% à estimer que leur première priorité d'investissement est de « développer

des procédures de collaboration BIM » (McGraw-Hill Construction, 2010, p. 20). Ce qui peut aller à l'encontre des idées reçues où l'investissement principal serait l'acquisition de logiciels BIM et les formations correspondantes.

iii. *Obtenir des marchés*

En reprenant le Graphique I-2, on aperçoit qu'un des avantages liés à l'utilisation du BIM est l'enjeu marketing. La pression des maîtrises d'ouvrages liée principalement aux choix politiques oblige agences et entreprises à se lancer dans le BIM pour pouvoir décrocher des marchés. Selon l'étude menée par l'agence NBS au Royaume-Uni, 69% des utilisateurs BIM et 37% des non utilisateurs estiment que leurs clients vont demander de plus en plus la réalisation de leurs projets avec une démarche BIM (2017). Dans un marché très concurrentiel, le BIM apparaît alors comme une valeur ajoutée intéressante qui permet à ceux qui l'utilisent de se démarquer des autres. 35% des professionnels espèrent ainsi investir dans le BIM dans le but de pouvoir vendre ces capacités à travers de nouveaux marchés (McGraw-Hill Construction, 2010). Malgré tout, beaucoup pensent qu'il s'agit d'un « effet de mode ». Les résultats d'une enquête dirigée par le gouvernement français sur plus de 380 000 professionnels du bâtiment indique que plus de 15% des répondants estiment que nous sommes face à un buzz marketing (Batiactu, 2017). Les maîtres d'ouvrage sont eux plus optimistes (environ 10%) et les petites entreprises, qui y voient pour le moment moins d'intérêt sont eux plus réticents (près de 20%).

iv. *Maintenance du bâtiment*

Ce n'est pas un hasard si les maîtres d'ouvrage sont plus favorables à utilisation du BIM de manière globale. Généralement ils sont également les gestionnaires du bâtiment et c'est à eux que reviennent les plus grands bénéfices du BIM. On estime que le coût de la construction ne représente que 20% du coût global du bâtiment. Le reste est consacré à l'entretien, à la maintenance et à la rénovation. Les gestionnaires ont donc tout intérêt à exiger une démarche BIM pour obtenir une maquette numérique qui leur permettra d'analyser et de gérer leur bâtiment sur toute sa durée de vie en mettant à jour les informations intégrées.

I.1.4. Limites

Bien que les intérêts pour une adoption du BIM sont flagrants pour les acteurs, il y a cependant des points sur lesquels le BIM pose des problèmes notamment ceux liés à son développement rapide voire trop rapide et à son manque de maturité dans l'industrie de la construction actuellement.

i. *Manque de maturité du BIM et sa complexité*

Le BIM, même si la notion ne date pas d'hier, est en perpétuel évolution. Les outils et standards utilisés à son début ne sont plus du tout les mêmes qu'aujourd'hui et vont bien sûr changer encore très rapidement dans les années à venir. Prenons pour exemple, le standard de base d'échange d'informations : L'IFC. Mis en place à la fin des années 90 (1997 pour l'IFC 1), nous sommes aujourd'hui à la version 4 (qui en réalité est la 7^{ème}) et l'IFC est en cours de développement.

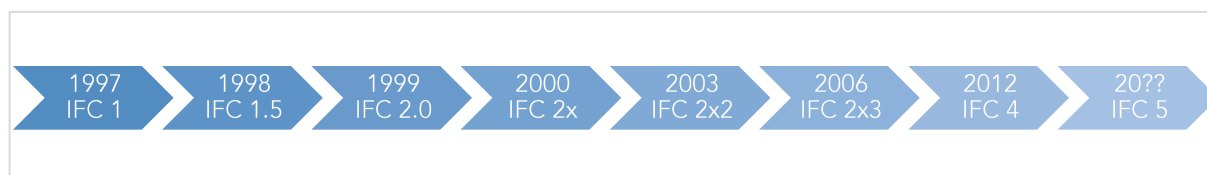


Figure I-4 - Versions du format IFC depuis 1997 (Laakso & Kiviniemi, 2012)

Ces changements ne sont pas propres à l'IFC qui se doit de s'adapter au fur et à mesure, ils concernent également la façon de travailler (échanges collaboratifs, les conventions mises en place...). Il faut donc s'assurer d'effectuer une veille technologique efficace et de modifier ses processus si besoin. C'est pourquoi il est assez complexe de passer au BIM, il faut choisir la bonne méthode qui pourra évoluer dans le temps. Même s'ils sont en place, beaucoup de professionnels estiment qu'il y a un manque de standards et de protocoles qui leur permettraient de mener à bien leur démarche BIM. Ils sont donc 37% à estimer que le BIM n'est pas encore mature mais surtout ce chiffre est en hausse, il est passé de 30% en 2016 à 37% actuellement (Batiactu, 2017).

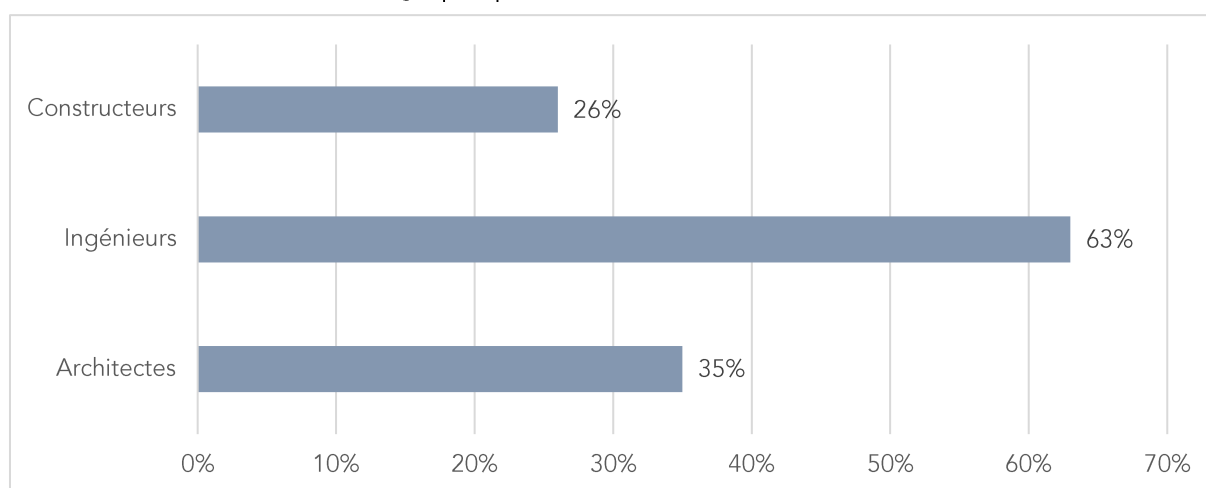
ii. *BIM et propriété intellectuelle*

L'objectif ultime du BIM est d'arriver pour les acteurs à un BIM niveau 3 ou iBIM (voir Tableau I-1 - Les différents niveaux de BIM). Ce niveau prévoit une conception intégrée, c'est-à-dire que tous les acteurs travaillent avec la même base de données sur une même maquette. Même si cela peut paraître idéal et notamment en interne, il n'en reste pas moins que les différentes parties s'inquiètent quant à la propriété intellectuelle de leurs créations (Smith, 2014). Lié à ce problème, on retrouve celui de la responsabilité juridique. En effet, jusqu'à présent chaque domaine était délimité, chaque pièce graphique ou écrite faisant foi pour chaque responsable. Si le travail est partagé à son plus haut niveau, il faut s'assurer que la responsabilité de chacun ne soit pas entachée par les erreurs des autres. Pour cela, il faut mettre en place de nouveaux contrats, de nouvelles conventions qui ne sont pas encore très

bien définies. Environ 15% des professionnels sont inquiets à propos des problèmes juridiques liés au BIM et les considèrent comme un frein (Batiactu, 2017).

iii. *Investissement pas toujours efficace*

Au-delà du ressenti des acteurs sur la rentabilité du passage au BIM, plusieurs études ont montré que ces nouvelles méthodes ne sont pas à coup sûr bénéfiques pour ceux qui les utilisent. Bien sûr cela dépend du domaine dans lequel on se place. Les constructeurs, par exemple, ont beaucoup à gagner avec le BIM. La maquette numérique enrichie leur permet d'avoir des estimations fiables, de préparer au mieux le chantier ou encore de prévoir les pièces préfabriquées. En revanche, les architectes ou ingénieurs, qui sont à l'origine de la maquette le plus souvent, ont un retour sur investissement moins important. Ils fournissent beaucoup de travail et investissent massivement pour des résultats moins probants. On retrouve ces résultats dans le graphique ci-dessous.



Graphique I-4 - Retour sur investissement négatif ou nul suivant les acteurs (McGraw-Hill Construction, 2012)

Bien que les chiffres pour les constructeurs paraissent moins élevés, il n'en demeure pas moins qu'un constructeur sur quatre n'est pas plus rentable en utilisant le BIM. Cela est d'autant plus vrai pour les architectes ou les ingénieurs.

C'est d'ailleurs cet investissement qui est aussi une barrière pour les non-utilisateurs du BIM. En Angleterre, ils sont plus de 55% à trouver que l'investissement est trop important (NBS, 2017), notamment en matière de coût (logiciels, formations...).

iv. *Expertise nécessaire*

Comme relevé précédemment, le BIM est une notion récente et son développement est très rapide. Il faut donc se former vite et bien pour pouvoir atteindre l'efficacité recherchée. Les compétences et l'expertise dans ce domaine sont très demandées mais pas toujours trouvées. Dans la plupart des pays où se développe le BIM, un des freins principaux est l'absence ou le manque de connaissances et de formations au sein de l'entreprise. Suivant que l'on se place dans une entreprise où le BIM a été adopté ou non, les résultats varient. Cette variation tend à indiquer une certaine réticence des non-utilisateurs qui ont une crainte de ne pas être à la hauteur. Pour exemple, sur un panel de 177 PME et TPE en France (Tranchant, 2016), ceux

qui utilisent le BIM sont 38% à avoir exprimé que le passage au BIM fut difficile alors que près de 60% des non-utilisateurs craignent que ce soit trop compliqué. La tendance augmente outre-manche avec 73% des répondants qui indiquent un manque d'expertise et 59% un manque de formation (NBS, 2017).

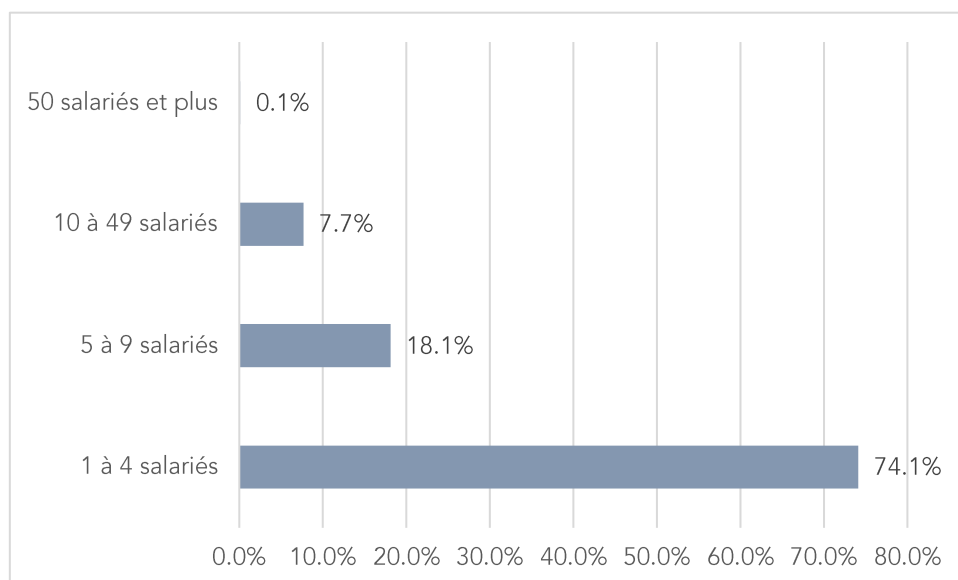
I.2. Situation actuelle et développement

La présentation du BIM avec ses intérêts et limites étant dressée, nous allons maintenant voir dans quel cadre cette mutation s'effectue. Nous étudierons ici l'impact du BIM sur les agences d'architecture, les autres acteurs sont bien sûr également importants mais l'objectif de ce mémoire est de se focaliser sur le volet architectural de la démarche et plus précisément, la modélisation BIM.

I.2.1. Typologies des agences d'architecture

i. Une majorité de très petits bureaux

Nous nous plaçons ici dans un cadre franco-belge. Bien que les deux systèmes d'accession au titre d'architecte diffèrent un peu entre ces pays, la situation globale est assez semblable. Ce qu'il est important de mettre en évidence est la répartition des agences d'architecture en fonction de leur effectif (on ne prendra ici que les architectes au sein de l'entreprise).



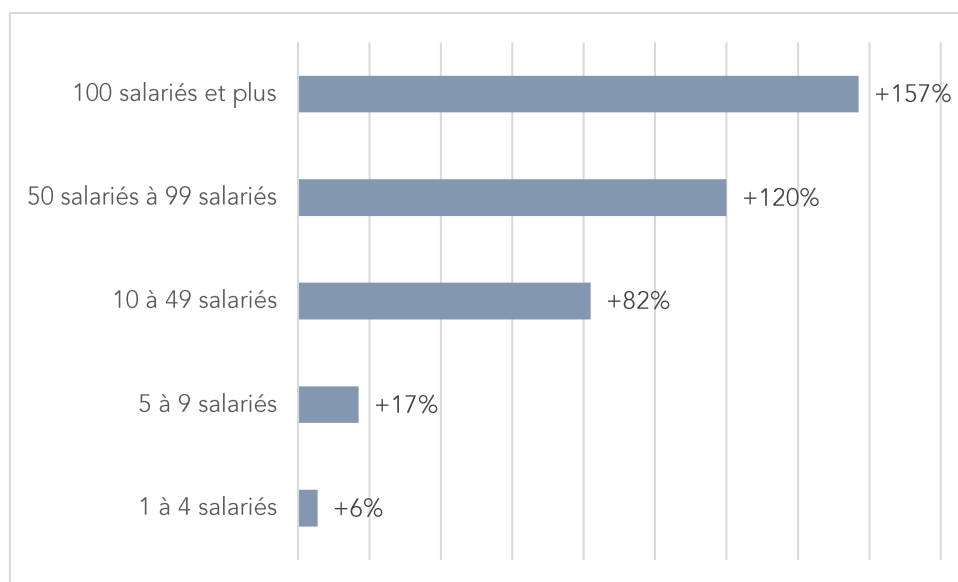
Graphique I-5 - Répartition des agences selon la taille (Ordre des Architectes (FR), 2014)

Le graphique ci-dessus met en évidence l'importance des petites structures au sein de la profession d'architecte. Si l'on considère qu'une petite ou moyenne structure compte moins de 10 salariés, alors elles représentent plus de 92% des agences et plus de 2/3 des architectes salariés (Ordre des Architectes (FR), 2014). En Belgique, on retrouve des statistiques similaires, soit 70% de petites structures (Ordre des Architectes / Conseil francophone et germanophone, 2016). Toutefois il convient de souligner que dans la quasi-totalité des cas, 90%, l'architecte est indépendant et non salarié.

Ce milieu professionnel est donc composé essentiellement de petites structures. Cette segmentation du marché permet une grande diversité des acteurs et des projets sur les différentes réalisations et assure une certaine variété architecturale.

ii. Tendance à l'augmentation des effectifs dans les agences

Néanmoins, la répartition des effectifs dans les structures évolue et l'on observe un regroupement progressif de ces effectifs dans des agences plus grandes. Cette particularité mise en évidence dans le graphique ci-dessous, peut s'expliquer par diverses raisons. Nous pouvons penser en premier temps à des raisons économiques, les grandes agences résistent mieux aux fluctuations du marché et peuvent également prétendre à de plus gros moyens internes dans la mesure où les coûts fixes sont généralisés à l'ensemble des salariés. Mais ce n'est pas là l'enjeu principal. En effet, cet agrandissement est notamment dû à la complexité croissante des projets. Les agences qui sont à même de regrouper en leur sein plusieurs collaborateurs capables d'évoluer dans des spécialités différentes (architecture, urbanisme, ingénierie...) consolident leur position dans un marché où la technicité et la réglementation sont de plus en plus importantes (Ordre des Architectes (FR), 2014).



Graphique I-6 - Croissance du nombre de salariés suivant la taille de la structure (Ordre des Architectes (FR), 2014)

L'augmentation des effectifs (sur la période 2000-2010) est d'environ 30%, de 29 500 à 38 650 salariés, en France contre une augmentation des structures de 8%. Elle s'est donc majoritairement faite sur des structures plus grandes. Les « très grandes » agences (plus de 50 salariés) ont quant à elles plus que doublé leurs effectifs sur cette même période ce qui met donc en lumière cette migration des architectes vers de plus grandes entités.

L'arrivée du BIM avec son besoin d'expertise et d'investissement accentue une nouvelle fois ce changement de typologie dans la répartition salariale des agences d'architecture.

1.2.2. Le rôle de l'architecte dans le processus BIM

Avant d'établir les différentes problématiques liées au BIM pour les agences d'architecture, il est nécessaire de mettre en évidence le rôle de l'architecte dans un processus BIM notamment dans le cadre d'une petite structure.

i. *Un rôle central*

Avec l'arrivée du BIM sont apparus des nouveaux métiers qui ne sont pas encore aujourd'hui clairement définis. Il s'agit des BIM Manager, BIM coordinateur ou encore BIM modelleur. Ces nouvelles professions se définissent peu à peu (formations plus spécialisées et plus nombreuses) et sont souvent réservées aux entreprises qui peuvent se le permettre, les grandes structures donc. Ils ont pour missions d'établir au sein de l'agence les différents protocoles BIM, d'assurer la bonne communication avec les acteurs du projet mais aussi de vérifier et coordonner les différentes maquettes numériques (Holzer, 2016).

Dans une petite structure, il est très rare de pouvoir engager une personne ou d'en assigner une pour effectuer ce travail. Il va donc être du rôle de l'architecte d'assurer ces nouvelles fonctions. C'est notamment lui qui assurera le rôle de coordinateur au sein du processus de conception avec les autres acteurs (Ordre des Architectes / Conseil francophone et germanophone, 2016). Cela est souvent déjà le cas dans le cadre de projets classiques (en conception et en chantier), il devra ajuster son management selon une démarche intégrée en respectant une chartre BIM établie avec les différentes parties.

ii. *Conception et management de la maquette*

Comme il est à l'origine de la conception d'un projet, l'architecte se doit dans un processus BIM d'être à l'origine de la maquette numérique. Cette mission est cruciale dans le bon déroulement du projet car ce sera la référence pour la quasi-totalité des communications. Là où les structures importantes peuvent faire appel à un BIM Modelleur (comme on fait appel à un dessinateur ou projeteur dans les projets classiques), les petites structures devront effectuer la modélisation par les architectes comme cela est souvent le cas actuellement (2D ou 3D).

Au-delà de l'expertise nécessaire pour passer en modélisation BIM, il sera également du rôle de l'architecte d'assurer la casquette de BIM Manager. Cette mission, que l'on peut rapprocher de celle de l'architecte synthèse, a pour objectif de vérifier la viabilité de la conception à travers tous les corps de métiers et de repérer les anomalies à la fois de conception mais aussi de modélisation.

Enfin, dans ce rôle central, l'architecte pourra également assurer la mise à jour de la maquette durant la phase chantier avec en particulier la livraison du modèle dans sa version finale comme il le fait actuellement avec la création des DOE (dossier des ouvrages exécutés).

En définitif, la conception et le management de la maquette numérique ne diffèrent pas tant que ça des missions traditionnelles de l'architecte. Il s'agit de les adapter dans le cadre d'un

processus collaboratif et intégré. C'est donc à lui de gérer la démarche, « elle met en valeur son travail ainsi que la nécessité de son intervention. Et elle lui permet de rester garant de la qualité architecturale produite. » (Ordre des Architectes / Conseil francophone et germanophone, 2016, p. 12)

iii. *La possibilité de s'offrir d'autres missions*

Comme la demande de la conception en BIM est souvent à l'origine de la maîtrise d'ouvrage, il est souvent convenu dans les contrats les différentes missions que l'architecte devra accomplir. Cette démarche étant à haute valeur ajoutée pour le maître d'ouvrage, il est bien sûr normal que celle-ci soit valorisée pour l'architecte. Mises à part les missions traditionnelles, l'architecte peut se voir offrir d'autres missions associées au BIM qui lui permettront de valoriser son travail. Cela peut aller de la transmission de la maquette numérique pour une utilisation supérieure (Entretien et maintenance) voire même à sa mise à jour pendant l'utilisation du bâtiment jusqu'à la livraison des informations relatives au bâtiment. On peut penser à des études complémentaires directement réalisables avec une maquette numérique (études énergétiques par exemple).

1.2.3. Pression des différents acteurs à l'utilisation du BIM

Il faut voir ce passage au BIM (dans le cas où il serait total dans les années à venir) comme un cercle vertueux ou vicieux selon la position dans laquelle on se place. D'un côté les structures qui adoptent le BIM rapidement seront à même de répondre aux demandes des différents acteurs et renforceront leur position sur le marché et ainsi de suite. D'un autre côté, ceux qui tardent ou qui ne se mettent pas au BIM verront une demande croissante de projets nécessitant une expertise dans ce domaine qui ne pourront satisfaire et se retrouveraient donc en marge du marché.

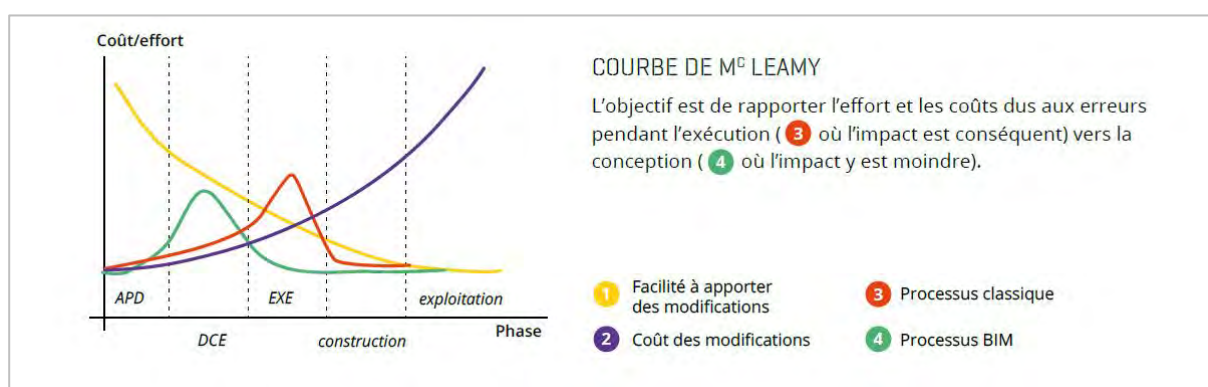
Dès à présent, une certaine pression est exercée sur les architectes de la part de plusieurs acteurs pour que ceux-ci viennent à adopter une démarche BIM.

i. *Maîtrise d'ouvrage*

Ceux sont les premiers concernés par l'adoption du BIM car ils en tirent de nombreux avantages, notamment lorsque leur parc immobilier est important. Cela concerne à la fois le domaine privé mais aussi le domaine public. En effet, la directive européenne de 2014 (voir 1.1.2.i) incite les pouvoirs publics à encourager le BIM dans le cadre des marchés publics. C'est donc naturellement que cette tendance commence à apparaître et va continuer à s'affirmer. Cette perception est d'autant plus valable pour les utilisateurs du BIM qui insistent sur le fait que les demandes des clients pour des projets BIM vont augmenter (NBS, 2017). D'autant plus que la marge de progression disponible est très importante, sur les marchés publics en particulier, avec en France seulement 10% des projets réalisés en BIM (McGraw Hill Construction, 2014).

ii. Entrepreneurs

Après les maîtres d'ouvrage, les entrepreneurs ont également beaucoup à gagner avec l'adoption du BIM. Il est donc normal qu'ils encouragent les architectes à faire de même. Ils étaient notamment près de 70% en 2014 à réaliser leurs projets commerciaux en utilisant le BIM (McGraw Hill Construction, 2014). La principale raison pour eux est l'économie sur chantier. En effet, il est beaucoup plus économique de gérer les problèmes en amont de la construction et ainsi d'éviter à l'entrepreneur des surcoûts (souvent très importants) liés aux erreurs de coordination. Le graphique ci-dessous met en évidence le coût des modifications et leur facilité de mise en place en fonction de la phase du projet.



Graphique I-7 - Courbe de Mc Leamy (Agence Qualité Construction, 2016)

On retrouve aussi sur le même graphique les processus classiques et BIM qui montrent clairement un déphasage des modifications de la phase EXE (où les modifications sont très chères pour l'entrepreneur) jusqu'à la phase PRO/DCE où les coûts sont plus raisonnables et où la facilité de modifier le projet est plus grande.

De plus, en incitant les architectes à rentrer dans une démarche BIM, les entrepreneurs peuvent prétendre à récupérer les données des maquettes numériques pour gagner du temps (et donc de l'argent) pour la préparation de leurs chantiers.

iii. Évolution

Les spécialistes sont assez confiants sur l'évolution du BIM, qui devrait continuer à s'affirmer dans les prochaines années. En effet d'après Peter Smith « l'utilisation du BIM s'accélère fortement, sous l'impulsion des grands propriétaires privés et gouvernementaux qui veulent institutionnaliser les avantages d'une livraison plus rapide et plus sûre des projets, d'une qualité et d'un coût plus fiables. » (2014, p. 3)., Cela aura même une influence sur le marché qui va subir une transformation à cause d'une augmentation massive des projets réalisés de la sorte (Smith, 2014).

Il est donc nécessaire pour les agences de se préparer à la réalisation de projets en suivant une démarche BIM pour ne pas être mises de côté dans les années à venir et pouvoir être encore moteur de leurs projets. Car « malheureusement » elles sont à la fois le maillon fort de

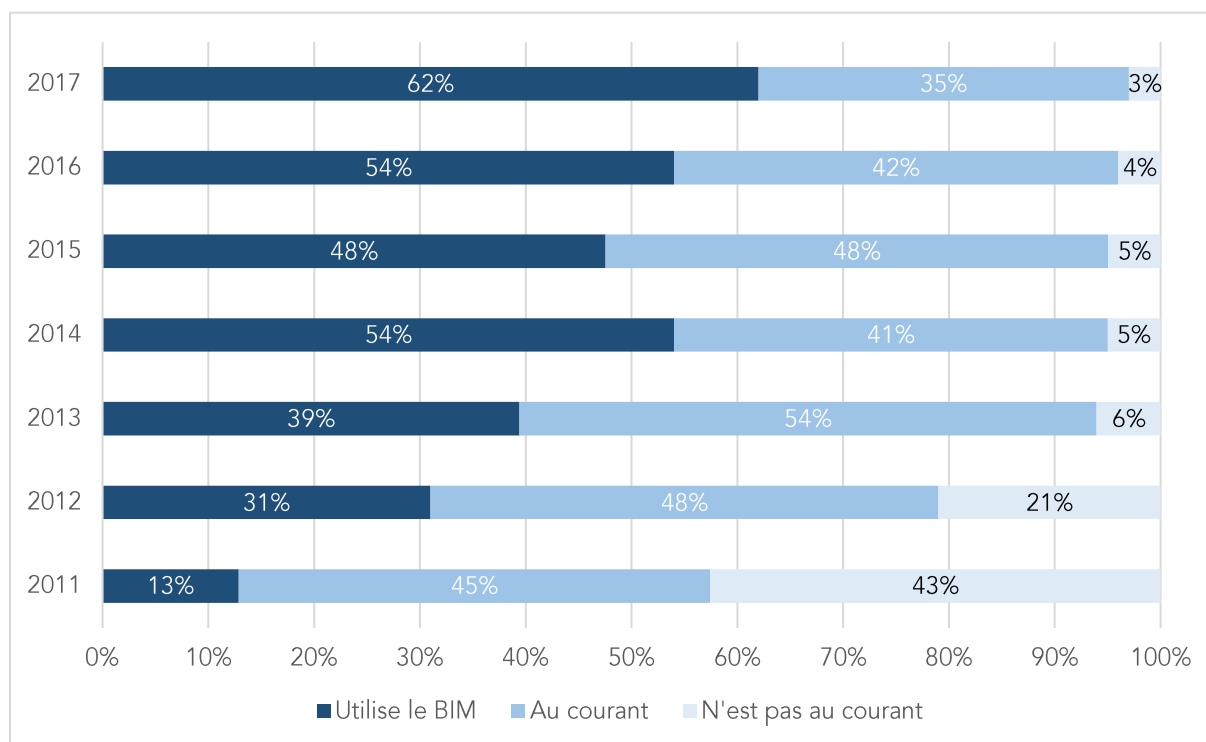
la chaîne dans la mesure où elles ont un rôle central mais aussi le maillon faible car ce sont elles qui en tirent le moins d'avantages a priori.

1.2.4. Développement du BIM dans les agences d'architectures

Nous n'allons pas ici reparler des intérêts du BIM et de leurs limites mais plutôt mettre en avant les difficultés ou non rencontrées par les agences d'architecture.

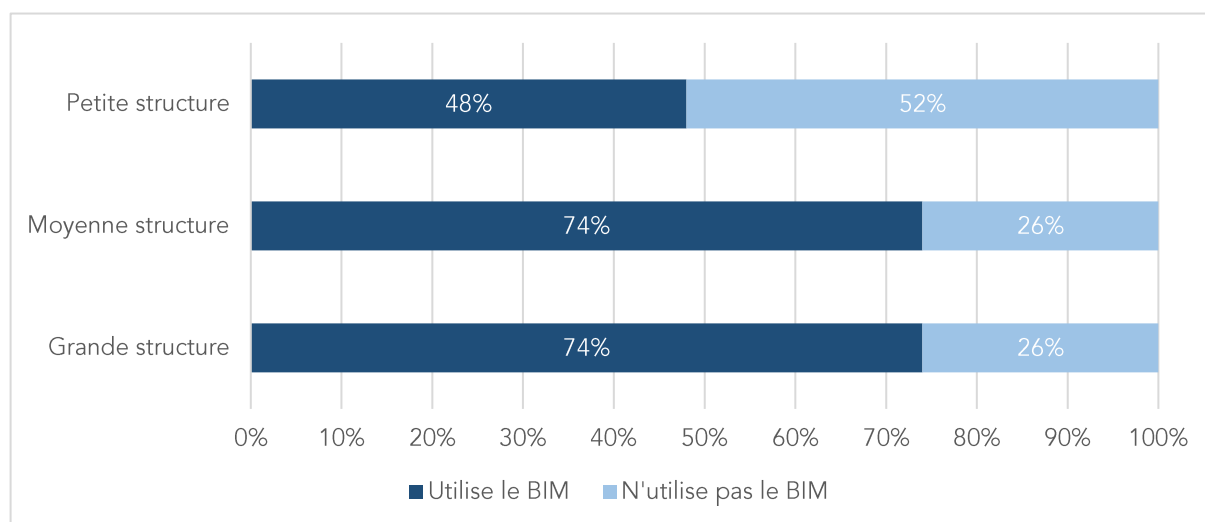
i. Évolution

Nécessairement, le développement du BIM est en cours. Apparu il y a quelques années, il commence à prendre une place de plus en plus importante dans les projets. Les grandes et moyennes agences ont pris les devants mais les petites commencent à réaliser de plus en plus de conception en BIM. En Angleterre, où le BIM est fortement implanté, les statistiques indiquent une très forte progression du BIM et utilisation majoritaire par les grandes et moyennes structures.



Graphique I-8 - Évolution de l'implantation du BIM en Angleterre (NBS, 2017)

Bien évidemment cela ne concerne pas la totalité des projets effectués par une agence. Les pourcentages ci-dessous et sur le graphique suivant rendent compte de l'utilisation du BIM sur au moins un projet dans l'année. Seulement 18% des entreprises qui utilisent le BIM réalisent l'entièreté de leurs projets en BIM (NBS, 2017). La moyenne est située entre 50% et 75% des conceptions effectuées suivant une démarche BIM.



Graphique I-9 - Taux d'utilisation du BIM suivant la taille de la structure (NBS, 2017)

Les chiffres ci-dessus sont à considérer dans le contexte anglais où la situation est plus avancée que chez nous à cause des volontés gouvernementales. Pour ceux qui ne l'utilisent pas, ils sont 96% à estimer qu'ils passeront au BIM dans moins de 5 ans (NBS, 2017). Ces résultats montrent l'importance du BIM dans les prochaines années. Même si la situation est différente dans notre pays, il est évident qu'elle suivra la même dynamique.

ii. Méthodes de travail

L'évolution vers le BIM s'accompagne d'un changement dans les méthodes de travail. Nous avons vu que le rôle de l'architecte prend une place importante et même centrale dans les processus. Pour que cela fonctionne, il faut que les structures puissent s'adapter à cette nouvelle façon de concevoir. Même si le retour sur investissement n'est pas toujours positif (voir I.1.4.iii), le BIM a pour avantage de faciliter le process et les échanges entre les acteurs et cela reste la première raison d'évolution vers cette nouvelle démarche (Tranchant, 2016). Ces nouvelles méthodes s'accompagnent également d'un changement de paradigme, et donc d'un changement radical dans la manière de concevoir. Il s'agit du dessin en 3 dimensions, car qui dit BIM dit modèle 3D. La maquette numérique apporte énormément à la compréhension d'un projet, il ne s'agit plus de fournir des plans qui ne sont pas forcément liés entre eux mais bien de livrer un modèle, lisible par tous, contenant l'entièreté des informations du projet (Schreyer, 2016). Bien évidemment, cela demande du travail en amont en terme de modélisation mais cette « perte » est vite compensée par des échanges plus efficaces et des erreurs moins courantes.

iii. Coût

Il s'agit du frein principal au développement du BIM dans les structures. Beaucoup estiment que le BIM reste cher et notamment sans réel bénéfice direct. Cette assertion est d'autant plus vraie que ce ressenti augmente avec le temps. De 41% en 2009, les architectes (non-utilisateurs de BIM) sont en 2012 57% à trouver les logiciels trop chers. Pour cela, beaucoup (la majorité) estiment que les pouvoirs publics ont leurs rôles à jouer dans l'adoption du BIM par les agences d'architecture (et autres). Environ 52% des maîtres d'œuvre pensent que le gouvernement doit à la fois accompagner dans les formations BIM (ce qui est déjà souvent le cas) mais aussi octroyer des aides (Batiactu, 2017). Effectivement, les enquêtes et les retours d'expérience montrent que même les utilisateurs voient le BIM comme onéreux et que les moyens mis en place sont très importants. Il est 79% à penser que le BIM demande un investissement trop grand après adoption (Tranchant, 2016).

Pour illustrer cela, il convient de donner un ordre de grandeur du coût engendré, par poste, par l'évolution vers le BIM. Il faut prendre compte les logiciels, le matériel informatique et également les formations (et donc les jours non travaillés). Le tableau ci-dessous donne une idée rapide des coûts pour un poste de travail. L'étude est généralement faite sur 3 ans correspondant à l'amortissement du matériel informatique et des licences par abonnement.

	Coût	Remarques
Logiciel	7 500,00 €/3 ans	Tout dépend de ce que l'on choisit (abonnement/achat). Il s'agit ici d'une moyenne.
Formation	500,00 €/jour	Généralement il faut entre 5 et 10 jours de formation
Matériel informatique	2 500,00 €	Les ordinateurs doivent être assez puissants pour gérer les modèles BIM ainsi que les logiciels
Total	12 500 €/3 ans	

Tableau I-3 - Coût du BIM par poste (Ordre des Architectes, 2018)

On retrouve des valeurs similaires outre-manche voire supérieures, où on parle de 10 000€ par poste de travail de dépenses liées au BIM (Miller, 2012). Cela montre le coût important voire trop dans certains cas du BIM, dont les petites structures devront s'acquitter pour rester dans la course.

II. THÉMATIQUE ET QUESTIONS DE RECHERCHE

II.1. Constat préalable

Le chapitre précédent met en lumière la nécessité pour les petites structures de s'adapter au BIM dans la mesure où le contexte impose une évolution plus ou moins rapide vers ce type de gestion de projet. On distingue deux types d'entreprises dans le domaine, les leaders et les suiveurs (Valente, 2017). Les leaders sont les entreprises qui ont su ou savent prendre leurs dispositions assez rapidement pour devenir les pionniers en matière de BIM et qui peuvent prétendre à participer à la mise en place du BIM de manière généralisée. Les suiveurs sont quant eux les structures qui attendent une relative stabilité de la démarche, qu'elle soit clairement définie en quelque sorte, avant de se lancer à leur tour. Le problème étant qu'il s'agit d'un phénomène en perpétuelle évolution et que si l'on attend trop, il est très difficile de se mettre à jour. Cela signifie également qu'en étant en retard constamment sur les processus, les structures ne pourront satisfaire les demandes des clients et seront donc marginalisées des marchés.

Il est donc vital pour ces agences de changer leur méthode de conception vers une démarche BIM. Cependant les freins évoqués lors de la partie I restent d'actualité et constituent un véritable obstacle. Comme rappelé précédemment, la démarche BIM se sépare généralement en deux volets, une partie management associée à la coordination interne et externe à l'entreprise mais aussi une seconde partie basée sur l'élaboration de la maquette numérique, l'outil principal du BIM. C'est ce dernier point qui va nous intéresser dans la mesure où c'est ici que les réticences sont majoritaires, notamment en terme de coût et d'expertise. D'autant plus qu'il est difficile de proposer des solutions pour la partie management étant donné qu'elle est en grande partie propre à chaque structure.

Ceci étant dit, il faut donc trouver un moyen abordable et facile pour les petites structures d'entrer dans le BIM et plus particulièrement dans la réalisation de la maquette numérique.

Pour cela nous allons dans ce chapitre établir les propriétés et les attentes d'une maquette numérique adaptée au BIM. Nous regarderons ensuite les solutions logicielles proposées sur le marché à l'aide de trois acteurs, les deux leaders Autodesk et Graphisoft avec leur programme Revit et ArchiCAD ainsi que Trimble qui propose un logiciel, SketchUp, bien plus abordable mais non spécialisé dans l'architecture.

II.2. La Maquette Numérique

Pour la suite de ce TFE, nous allons nous orienter vers l'outil principal du BIM qui est la maquette numérique. Tout le protocole de collaboration entre les acteurs ne serait pas traité ici mais n'en reste pas moins la base de toute démarche BIM au sein d'un projet.

II.2.1. Outil central du BIM

i. *Maquette orientée objet*

Une des conditions principales du BIM est la création d'une maquette orientée-objet. Pour bien comprendre ce que cela signifie, il faut distinguer trois types de modélisation. Commençons par le dessin assisté par ordinateur ou DAO. On retrouve ce principe de modélisation depuis la fin des années 70, notamment grâce au logiciel AutoCAD. Dans ce programme, nous ne dessinons que des formes en 2D, c'est-à-dire des lignes, des points ou encore des hachures qui n'ont pas de représentation physique ou volumétrique. Cette représentation est encore très utile pour des vues de détails ou bien des dessins techniques.

Ensuite, avec l'augmentation des puissances de calculs des ordinateurs sont venus les modeleurs 3D. Il a été possible de tracer des formes plus complexes avec des arrêtes, des faces pour représenter des solides ou même des géométries libres (surfaces NURBS). C'est à partir de ce moment que nous pouvons naviguer dans le modèle et obtenir différents points de vue contrairement au dessin 2D qui n'autorise qu'une seule vue. Cependant ces modélisations 3D ne contiennent pas vraiment d'informations mis à part le volume des solides ou leur matière. Le modeleur 3D le plus connu et le plus répandu (dans d'autres domaines que l'architecture aussi) est le logiciel SketchUp, dont nous reparlerons en détail par la suite, qui permet une grande liberté de modélisation.

Le dernier type de modélisation est celui dont nous allons explorer les possibilités. Il s'agit d'une modélisation orientée-objet dont le but est de décrire une réalité constructive. La maquette 3D n'est plus seulement des formes ou solides que l'on vient dessiner mais un ensemble d'éléments admettant des relations entre eux et contenant de l'information qui n'est plus uniquement géométrique.

Pour illustrer ce propos nous allons pour cette partie nous baser sur un exemple concret. Nous choisissons ici de modéliser une table à manger classique et nous allons explorer les différentes manières de la dessiner et ainsi comprendre le principe de la modélisation BIM et de ses paramètres.

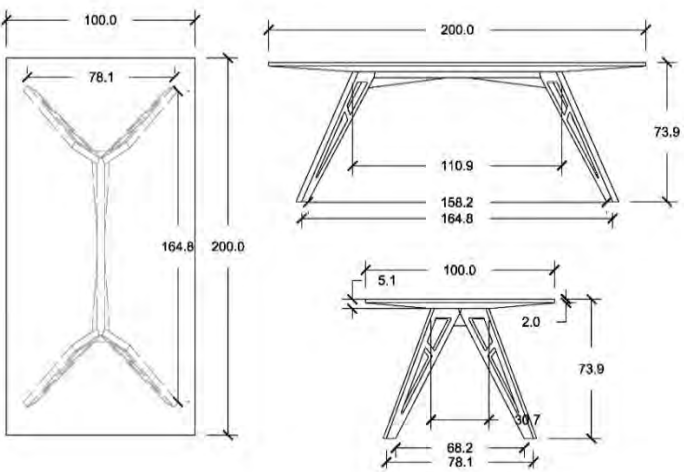
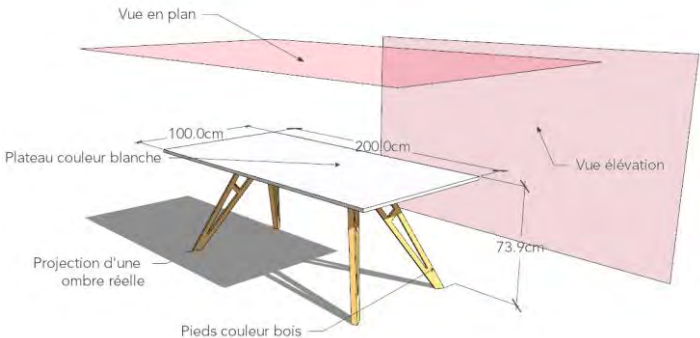
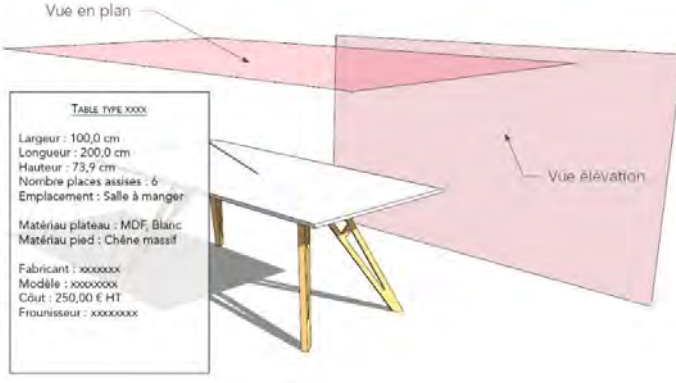
2D		<ul style="list-style-type: none"> – Formes 2D (traits, hachures...) – Vues fixes en projection parallèle – La seule information que l'on peut obtenir sont des côtes – Tout autre information est une simple annotation sur le dessin
3D		<ul style="list-style-type: none"> – Forme(s) en 3D (arrêtes, faces...) – Navigation en 3D – Vues 2D en projection parallèle – Interaction avec l'environnement (ombres, collision 3D)
BIM	 <p>TABLE TYPE XXXX</p> <p>Largeur : 100,0 cm Longueur : 200,0 cm Hauteur : 73,9 cm Nombre places assises : 6 Emplacement : Salle à manger</p> <p>Matériau plateau : MDF, Blanc Matériau pied : Chêne massif</p> <p>Fabricant : xxxxxxxx Modèle : xxxxxxxx Côté : 250,00 € HT Fournisseur : xxxxxxxx</p>	<ul style="list-style-type: none"> – L'objet modélisé est reconnu comme une table par les logiciels – L'information est intrinsèque à l'objet – Tout type d'information est envisageable – L'objet peut être paramétrique

Tableau II-1 - Comparaison 2D, 3D, BIM

La modélisation BIM apporte tous les avantages d'une modélisation 3D ou 2D. C'est-à-dire que l'on va pouvoir à partir de la maquette numérique, extraire des plans ou élévations tout en gardant la possibilité d'une visualisation 3D qui interagit avec son environnement (étude d'ensoleillement par exemple). L'objet BIM va lui être reconnu par le logiciel comme une certaine classe. Dans l'exemple ci-dessus, le logiciel « sait » qu'il s'agit d'un mobilier non-fixe. De plus un avantage de cette modélisation orientée-objet est qu'elle va nous permettre d'aller ajouter de l'information dans l'objet mais aussi de le rendre paramétrable. Il va être possible d'indiquer par exemple le nombre de personnes assises et la taille de la table s'ajustera en fonction.

La maquette numérique est l'outil central de tout processus BIM car c'est elle qui va détenir l'ensemble de l'information du projet qui va servir à tous les acteurs. C'est donc essentiel qu'elle soit correctement réalisée et renseignée pour que les données présentes puissent être les plus justes possible.

ii. Cycle de vie du bâtiment

La maquette numérique, bien qu'elle soit très utile en phase de conception notamment pour la visualisation du projet a une portée beaucoup plus grande. Son utilité va bien au-delà de cette phase et elle est utile pour toute la durée du bâtiment mais évidemment pas de la même manière.

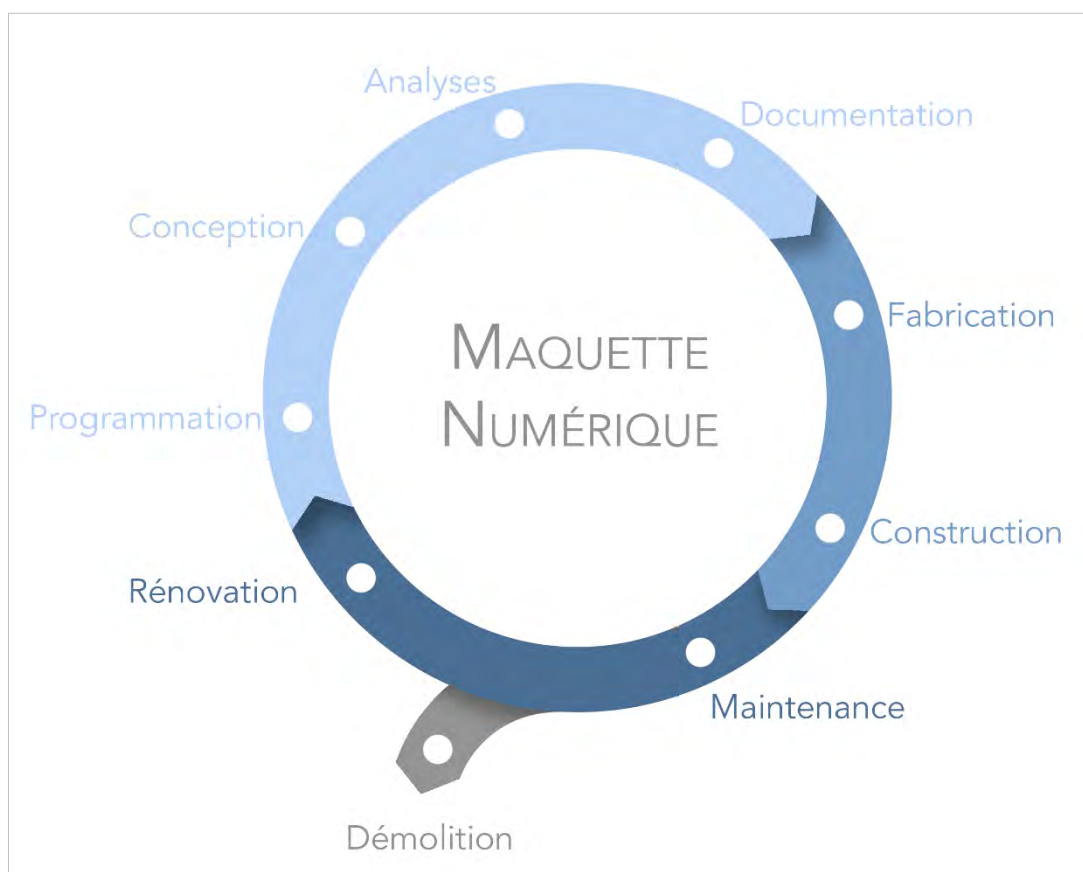


Figure II-1 - Interventions de la maquette numérique dans la vie d'un bâtiment

Programmation	Dès les premiers instants du projet, une maquette numérique permet de définir les espaces ou zones (voire les pièces) du projet et ainsi d'organiser le début de la conception. Les surfaces et autres données primaires sont facilement extractibles et assurent un bon respect du programme imposé.
Conception	Peut-être la phase où la maquette est la plus sollicitée. Les différents acteurs interviennent dessus et réajustent leur conception en fonction des différents paramètres. Le processus collaboratif se tisse autour de la maquette qui devient le principal moyen d'échange d'informations.
Analyses	L'avantage d'une maquette BIM correctement réalisée est qu'elle peut être utilisée par des logiciels annexes pour différentes études. Les bureaux d'études n'ont plus qu'à effectuer leurs analyses (thermique, structure...) sur la maquette et n'ont plus forcément besoin de reprendre le travail à zéro.
Documentation	Une fois la conception et les analyses terminées, on peut extraire de la maquette numérique les plans, façades ou encore coupes pour une documentation complète de la construction. Un autre aspect est également de pouvoir fournir de manière très rapide un métré ou une nomenclature de n'importe quel élément (fenêtres, portes, mobilier...).
Fabrication	La maquette numérique facilite, notamment pour les éléments architecturaux un peu complexes, les méthodes de préfabrication en vue du chantier. Les fabricants ont accès aux objets à confectionner et aux informations nécessaires (quantité, matériaux, nombre...). Ce qui permet un gain de temps, notamment pour la faisabilité des pièces.
Construction	En phase chantier, la maquette numérique permet d'éviter un bon nombre d'erreurs, notamment liées à la coordination des corps de métiers (détection de collisions). La gestion du chantier se voit également simplifiée avec la possibilité d'intégrer à la maquette une dimension temporelle et financière. De plus les constructeurs ayant accès au modèle avant le début de la construction peuvent, à l'aide de logiciels spécialisés, organiser de façon très détaillée le chantier (évaluation des éléments portables par la grue, emplacement des matériaux pour améliorer les flux de travail...). La maquette est enrichie pendant la construction avec les différents changements opérés et donc à la fin du chantier elle correspond à ce qui a été réellement réalisé.

Maintenance	Une fois la construction et la maquette définitive réalisée, celle-ci sert de base pour la maintenance du bâtiment. L'objectif est de mettre perpétuellement à jour cette maquette par les gestionnaires pour avoir une information exacte sur l'édifice. Cela donne la possibilité de mieux gérer le infrastructures et d'être beaucoup plus efficace dans les actions de maintenance.
Rénovation	On estime qu'un bâtiment a une durée de vie d'une cinquantaine d'années avant une rénovation lourde ou une démolition. En cinquante ans, un édifice a le temps de changer (modifications légères, équipement...). Une maquette mise à jour en permanence aura donc une grande utilité en cas de rénovation et évitera un grand nombre d'études ou de métrés sur place.
Démolition	Un peu comme la phase de construction, la maquette va servir pour déterminer l'enchaînement de la démolition du bâtiment. Elle sera également utile pour voir la quantité de déchets générés, recyclés ou dangereux (comme l'amiante par exemple) et permettra ainsi d'évaluer au mieux les coûts et le timing de cette démolition.

Tableau II-2 - Interventions de la maquette numérique dans la vie d'un bâtiment

Le tableau ci-dessus retrace l'utilisation de la maquette numérique à travers les différentes étapes de la vie d'un bâtiment. Lorsque nous parlons d'outil central, il faut se rendre compte que c'est le document qui va, dans le cas idéal, être présent en permanence lors des ajustements effectués sur l'édifice. Tout peut changer, les architectes de la rénovation ne seront pas nécessairement ceux de la construction, les gestionnaires peuvent évoluer et donc la maquette numérique reste le seul élément contenant de l'information que l'on peut transmettre. Elle joue donc un rôle primordial dans la gestion et permet une continuité en cas de changements conséquents.

II.2.2. Les niveaux de développement

i. LOD, lod ou loi

Aux différentes phases du projet et notamment en conception sont associés différents niveaux de développement. On distingue trois sortes de niveaux qui sont en réalité liés les uns aux autres. Les LOD (Levels Of Développement) ou ND (Niveaux de développement) en français expriment et « définissent le niveau de renseignement attendu pour les éléments constituant la maquette numérique » (Le Moniteur, 2014, p. 6). Ces ND regroupent en réalité les deux autres notions qui sont les lod (levels of detail) et loi (levels of information).

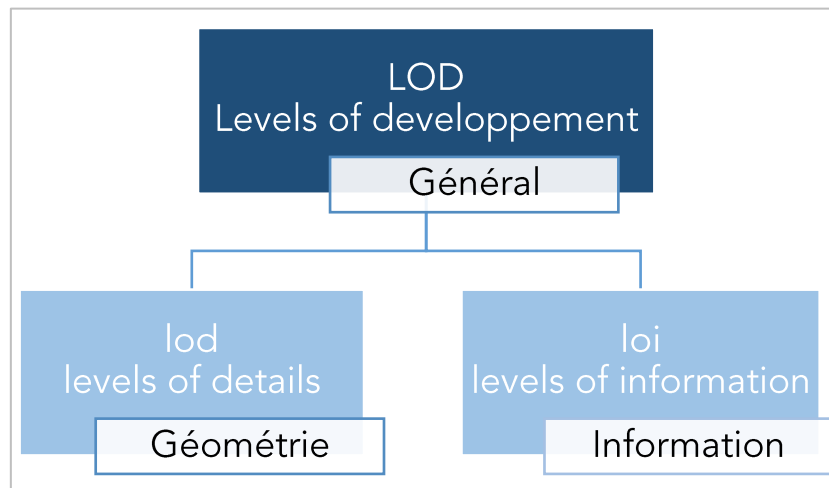


Figure II-2 - LOD, lod, loi

Comme on peut le voir ci-dessus, les lod et loi sont en réalité des sous-niveaux associés au niveau général. Les lod ont pour but de définir la complexité de la géométrie (de la forme grossière en étude de faisabilité à la modélisation des différents assemblages en phase chantier). Les loi quant à eux expriment l'information souhaitée pour les éléments, qui peut être presque nulle au départ pour être complète à la fin avec par exemple les données du constructeur et même parfois les instructions de maintenance. Suivant les besoins des clients ou des acteurs du projet, il est important de définir au préalable les différents niveaux de la maquette pour les étapes clefs du projet.

ii. LOD associés aux phases de projet

Afin de faciliter la compréhension des LOD ou ND pour les acteurs, ces différents niveaux ont été harmonisés pour correspondre à nos phases de développement de projet. On distingue donc six niveaux de développement correspondant aux phases de développement d'un projet : esquisse, avant-projet sommaire, avant-projet définitif, projet, consultation des entreprise, exécution, exploitation. Pour expliquer cela plus précisément nous allons reprendre l'exemple de la table vu au II.2.1.i dans le tableau ci-dessous. À chaque phase correspond un niveau de définition tant sur la géométrie que sur l'information.

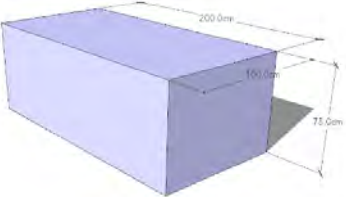
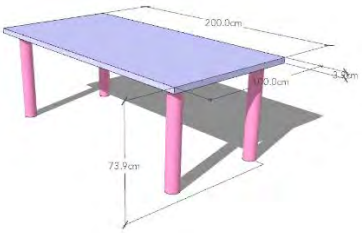

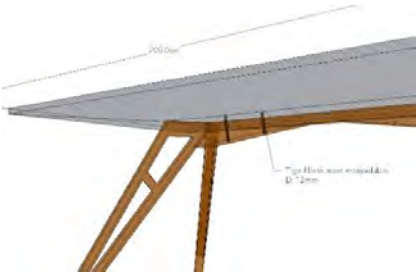


	Phase	Représentation	Information
LOD100 - ND1	ESQ		La représentation est générique voire conceptuelle. L'information à ce stade n'est pas très fournie. Il y a surtout la localisation (et relations) et sa taille (non définitive).
LOD200 - ND2	APS		Niveau nécessaire pour les demandes de permis. Les éléments commencent à prendre forme (géométrie approximative), les côtes générales sont presque définitives. Les informations renseignées permettent la réalisation des premières études.
LOD300/350 - ND3	APD PRO DCE		Niveau de détail nécessaire pour la consultation des entreprises. Les éléments doivent être suffisamment détaillés que ce soit en géométrie ou en informations (données physiques, environnement...)
LOD400 - ND4	EXE		En phase de construction, les éléments doivent présenter toutes les informations nécessaires à la construction : matériaux, assemblages, quantités, dimensions exactes...
LOD500 - ND5	DOE		En fin de construction, la maquette doit renseigner avec le niveau de détail le plus élevé. Soit avec les éléments tels qu'ils ont été réellement construits (As-built). La maquette servira alors de base pour les DOE (dossiers des ouvrages exécutés)
ND6	EXP		Ce niveau n'en est pas vraiment un dans la mesure où il correspond simplement à une mise à jour des éléments pendant l'exploitation du bâtiment (changement de machineries, huisseries, mobiliers...).

Tableau II-3 - Définition des différents niveaux de développement

II.2.3. De la 3D à la nD

La maquette numérique apporte comme une maquette physique une 3^{ème} dimension aux documents créés. Cette dimension n'est pas vraiment nouvelle puisqu'elle est assez courante depuis de nombreuses années chez les professionnels. Cependant l'utilisation actuelle permet d'aller encore plus loin dans le renseignement de la maquette et ouvre la fois à d'autres dimensions.

DIMENSION	PARAMÈTRE GLOBAL	INFORMATIONS
3D	Les 3 dimensions spatiales	Informations de base de la maquette. On retrouve pour chaque élément les propriétés géométriques ainsi que physiques (matériau, composition...)
4D	Dimension temporelle	Très utile dans la préparation du chantier et notamment pour la planification, l'ajout d'une dimension temporelle à chaque élément permet de simuler les étapes de construction du projet et de prévoir un planning prévisionnel des travaux.
5D	Le coût	La maîtrise des coûts est essentielle pour mener à bien la réalisation d'un projet. Nous pouvons dans une maquette associer un coût à chaque élément en fonction de différents paramètres (Prix unitaires, volume, surface, position...)
6D	La maintenance	Lors de l'utilisation d'un bâtiment, il est souvent utile de posséder les informations relatives à la maintenance des différents éléments de l'édifice. Il est possible lors du renseignement de la maquette d'encoder ou de lier les informations de maintenance pour chaque élément. Il faut bien sûr penser à mettre à jour ces informations sur la maquette lors de modifications apportées à l'édifice.
nD	-----	Nous pouvons bien évidemment ajouter à notre maquette un nombre infini de dimensions. Cela dépend de nos besoins ou des demandes des clients. On peut imaginer apporter à chaque élément une information relative à son énergie grise, sa durée de vie ou sa consommation énergétique.

Tableau II-4 - Dimensions de la maquette

II.2.4. Interopérabilité

i. Définition

Un enjeu de taille pour la mise en place d'une démarche BIM est la possibilité de transmettre une maquette numérique avec ses informations d'un collaborateur à un autre. Cependant cette étape clef dans le processus est souvent mise à mal par le manque de compatibilité entre les différents logiciels utilisés voire au sein même des différentes versions d'un même logiciel.

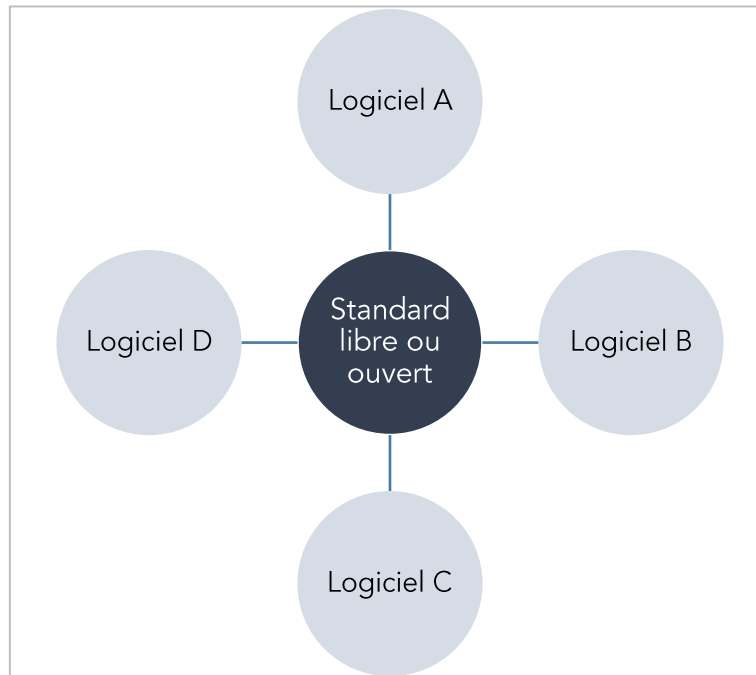


Figure II-3 - Principe d'interopérabilité

C'est donc cela que l'on appelle l'interopérabilité, la capacité de deux ou plusieurs logiciels à communiquer ensemble soit de manière directe soit par l'intermédiaire d'un fichier commun. C'est aujourd'hui la notion la plus critique dans les échanges liés au BIM car elle oblige soit tous les acteurs d'un même projet à travailler sur un même logiciel (souvent le cas) ; soit de trouver le moyen de passer par une solution intermédiaire mais dont l'efficacité est encore loin d'être assurée. Nous avons parlé précédemment du standard IFC, c'est lui qui va venir jouer le rôle de transition entre deux logiciels différents.

ii. Enjeux pour la collaboration

La maquette numérique recèle toutes les informations liées au projet et il est primordial que toutes les données soient transmises correctement et en intégralité à tous les collaborateurs. Une démarche BIM étant généralement centrée sur la coordination entre les acteurs, l'outil devient alors une source de problème en cas de non-compatibilité. Au sein d'une même agence on fera en sorte de travailler avec le même outil et donc de conserver un modèle numérique totalement modifiable et identique pour tous. Toutefois, on ne peut imposer aux autres un logiciel en particulier.

iii. *Limites commerciales*

Il n'est pas non plus dans l'intérêt des éditeurs de logiciels de favoriser complètement la possibilité de passer par un intermédiaire. Il est plus profitable pour eux d'essayer de garder un type de fichier propriétaire pour forcer la main sur les consommateurs. Quand bien même les éditeurs de logiciels voudraient permettre un échange entre les différents programmes même si ces derniers ne leur appartiennent pas, il serait difficile pour eux de pouvoir fournir un type de fichier intermédiaire totalement identique.

En effet, les échanges entre logiciels différents se font souvent via le format IFC, devenu la référence dans l'interopérabilité des maquettes BIM. Néanmoins il convient de rappeler que ce standard est élaboré par une association d'entités dont les éditeurs de logiciels BIM. Cette association développe donc ce standard mais à une vitesse moins élevée que le développement des solutions payantes. Ces dernières sont mises à jour une à trois fois par an et proposent en permanence de nouvelles fonctionnalités qui ne peuvent être prises en compte par le standard. Vu la complexité de ces logiciels et de leurs particularités propres, il est très difficile d'imaginer qu'une parfaite interopérabilité soit possible.

iv. *Intra et inter logiciels*

L'interopérabilité ne concerne pas seulement les relations entre différents logiciels. Elle peut également prendre en compte les relations entre différentes versions d'un même programme. Nous aurions pu annexer ce paragraphe au point précédent car les stratégies commerciales ont également un impact sur la communication entre deux versions d'un même logiciel. Depuis quelques années, nous assistons à un changement du moyen d'acquisition de logiciels, pas seulement dans le domaine des programmes liés à l'architecture mais à l'informatique en général. En réalité, nous ne sommes plus réellement propriétaires des logiciels car de plus en plus souvent il nous est proposé de s'abonner par mois ou par an. Cette solution peut paraître économique sur le court terme mais devenir assez coûteuse dans le temps.

Toutefois il faut noter quelques avantages à cette nouvelle méthode. Généralement dans le prix tout est compris : le logiciel, l'assistance (payante souvent), les supports et surtout les mises à jour. C'est sur ce dernier point que se joue toute cette stratégie, l'utilisateur possèdera en tout temps la dernière version possible du logiciel. Pour peu que les mises à jours soient automatiques, celui-ci n'aura même pas vraiment le choix de la version qu'il peut utiliser. À cela s'ajoute souvent l'impossibilité d'enregistrer le travail sous une version antérieure. Il est bien sûr possible d'ouvrir un fichier fait avec une ancienne version mais l'inverse n'est pas possible. Cette particularité oblige tous les acteurs d'un même projet, s'il travaille sur le même logiciel, d'avoir tous la même version de celui-ci et notamment la plus récente de toutes.

II.2.5. Structure des fichiers

i. *Compréhension et collaboration*

Même si la plupart des logiciels spécialisés structure les fichiers de manière automatique, il est nécessaire de comprendre la hiérarchie des maquettes numériques pour concevoir correctement un modèle. Une hiérarchie semblable pour tous les fichiers simplifie grandement les échanges et la compréhension d'une maquette BIM. On distingue deux types de structuration : celle liée au nom des différents éléments et celle liée à leur emplacement géométrique.

Pour les données textuelles, on préférera utiliser des noms judicieusement choisis pour les éléments phares comme les étages ou les bâtiments. Cette convention dépend de chacun mais il faut qu'elle soit clairement énoncée lors de la mise en place d'une convention BIM d'un projet. On pourra penser par exemple à une numérotation simple des étages suivant que l'on soit en infrastructure ou superstructure avec des "-" et "+" suivi du nom de l'étage. Nous aurons donc pour un bâtiment de 5 étages dont 2 en sous-sol :

- +02_ETAGE 2
- +01_ETAGE 1
- 00_REZ-DE-CHAUSSEE
- -01_SOUS-SOL1
- -02_SOUS-SOL2

Il en est de même si nous avons plusieurs bâtiments. L'important est que chacun s'y retrouve et que chacun utilise le même format pour le nom. Ceci ne s'arrête pas au nom des étages mais concernent également le nom des vues (plans, coupes, élévations) ou même des éléments constructifs (appellation des murs, fenêtres...)

Concernant la géométrie, il est recommandé que chaque élément se trouve sur un étage distinct. Même s'il est souvent plus facile et plus rapide de modéliser les grands éléments comme les murs sur plusieurs étages. La compréhension n'est pas toujours simple lorsqu'un élément se situe sur deux ou plusieurs niveaux à la fois. De plus, la plupart des logiciels travaillant en BIM et notamment ceux qui servent à visualiser un modèle (Solibri par exemple dont on reparlera par la suite) traitent les éléments étage par étage et deviennent moins performants lorsqu'il s'agit d'analyser des modèles avec des structures plus complexes. Il est néanmoins probable qu'un élément ne puisse pas être séparé entre les étages, soit par sa complexité (on préférera laisser une coque à la forme géométrique particulière en entier), soit par nature (comme une fenêtre sur deux étages). Pour ces éléments on conservera une convention où ils appartiennent au niveau le plus bas dans lequel il sont présents.

Il s'agit ici de recommandations ou règles de bonne conduite couramment utilisées et qui permettent à chacun de comprendre au mieux la structure du modèle et d'éviter les erreurs inutiles.

ii. À partir de la logique IFC

Nous avons parlé précédemment du standard IFC, permettant l'échange sous un format ouvert des maquettes numériques. Ces fichiers structurent la maquette de manière particulière et il est très appréciable de s'en inspirer pour la réalisation de nos modèles. En effet cette dernière, bien que présentant quelques particularités, est très logique dans son ensemble et permet de fixer une base presque normative pour les projets.

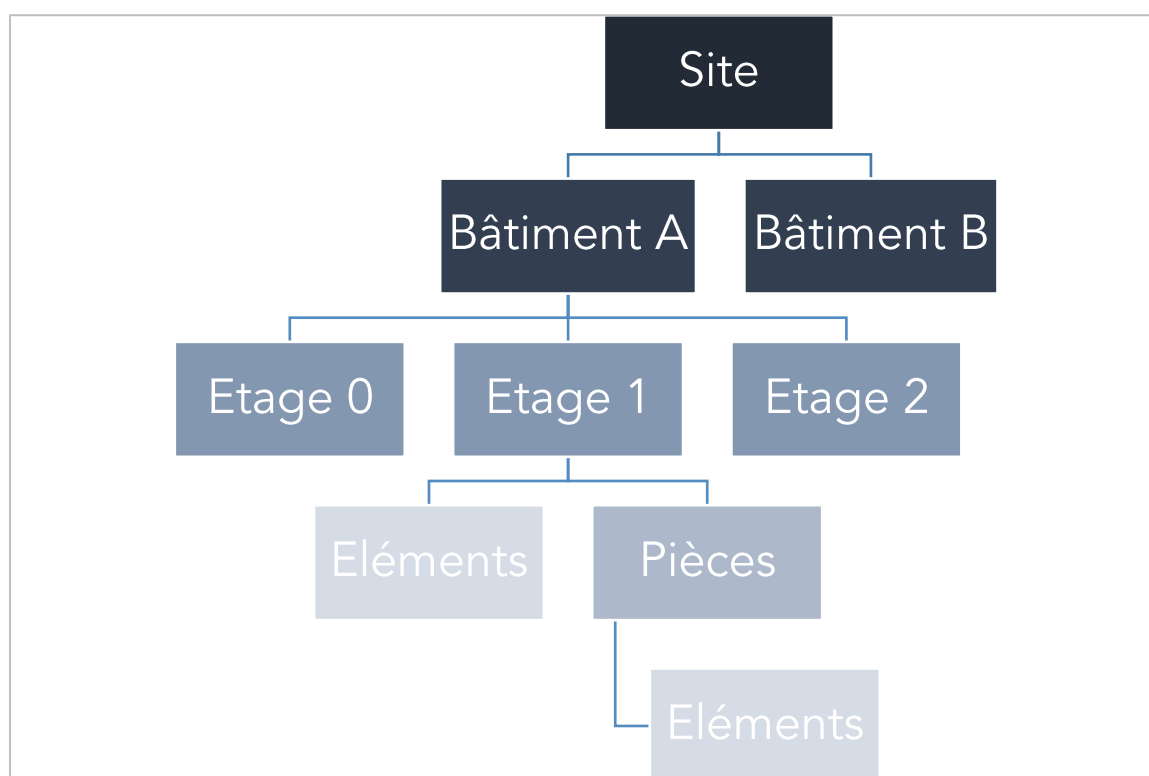


Figure II-4 - Structure simplifiée du format IFC

Comme on peut le voir sur le schéma, les éléments (murs, dalles, fenêtres, mobilier...) sont placés dans des pièces ou directement des étages qui sont eux-mêmes placés dans un bâtiment qui est placé dans un site. On convient qu'une seule maquette numérique est associée à un seul site et vice-versa. On peut bien évidemment avoir plusieurs sous-maquettes pour un même projet, nous verrons l'intérêt de cette pratique dans le prochain chapitre.

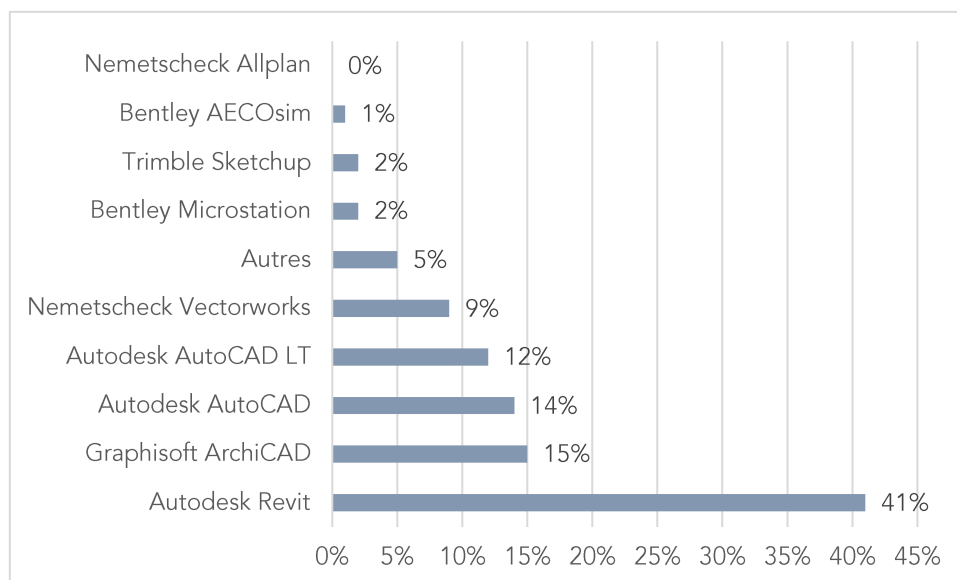
Il est important de garder en tête cette structure car si nous passons par un logiciel non spécialisé il faudra faire en sorte que cette hiérarchie soit respectée.

II.3. Choix du logiciel

Le choix du logiciel pour réaliser une maquette numérique est un choix crucial pour le processus BIM d'une entreprise. D'autant plus que ce choix va perdurer pendant de nombreuses années étant donné le coût de ses derniers et l'expertise nécessaire pour les faire fonctionner. Il est donc très difficile d'en changer, notamment par habitude, tant au niveau personnel qu'au niveau de l'agence. En conséquence, il faut choisir correctement le logiciel en fonction de différents paramètres (coût surtout) et des besoins de l'entreprise.

II.3.1. Acteurs du marché

Quelques acteurs sont présents sur le marché et se livrent à une concurrence assez importante, en particulier depuis l'arrivée du BIM. Comme nous le disions au préalable, ce sont eux qui ont permis le développement du BIM grâce aux progrès technologiques effectués.



Graphique II-1 - Répartition des logiciels au sein des agences d'architecture (NBS, 2017)

Nous allons nous consacrer à trois logiciels différents : les deux leaders du marché et un logiciel plus particulier. Il s'agit de Revit d'Autodesk, ArchiCAD de Graphisoft et SketchUp de Trimble.

Sur le graphique ci-dessus, on retrouve pour le Royaume-Uni la répartition des logiciels au sein des agences d'architecture. Ces valeurs restent assez constantes partout en Europe, cependant ArchiCAD est un peu plus représenté dans les pays scandinaves car c'est là qu'il a été créé à la base. Il s'agit ici de pourcentage prenant en compte l'intégralité des logiciels utilisés, BIM ou non.

Même s'il n'est pas le logiciel historique, Revit est désormais le leader du marché. Cette place privilégiée lui est notamment due grâce à un développement du logiciel sur différents domaines : Architecture, Structure, MEP (réseaux). Ce qui a permis aux ingénieurs de travailler sur le même outil que les architectes et vice-versa.

ArchiCAD fut l'un des pionniers dans la réalisation des modèles 3D, avec un langage orienté-objet et la possibilité de créer un modèle intelligent (correspondance entre plans, coupes et élévations, réalisations de nomenclatures...). Il séduit également car il est à la fois disponible sur plusieurs systèmes d'exploitation (Windows et Mac OS) contrairement à Revit par exemple qui n'est disponible que sur Windows.

Globalement ces deux logiciels ont leurs adeptes et chacun s'y retrouve. Même si certaines fonctionnalités diffèrent, les logiques de modélisation restent les mêmes, on dessine en plan puis on donne les propriétés voulues pour donner du volume.

Le troisième logiciel est SketchUp et il est très peu représenté sur le marché. La raison à cela est qu'il est souvent considéré comme un outil inadapté au dessin architectural. En effet, SketchUp n'est pas prévu à la base pour l'architecture. Il s'agit d'un modèleur 3D très simple d'usage (ce qui en fait sa force), qui a été adopté par les architectes, notamment en phase esquisse, afin de proposer rapidement des volumétries et autres vues.

II.3.2. Comparatif des principales solutions

Suivant le constat effectué au début du chapitre, nous allons essayer de voir quel outil serait le plus approprié à une petite agence d'architecture. Pour cela nous allons choisir des critères de comparaison ainsi qu'un scénario probable. À la fin, un tableau comparatif nous permettra de choisir la solution qui sera retenue.

i. *Critères retenus*

Les critères que nous choisissons ici sont directement liés aux problématiques causées par le BIM dans les agences. À savoir notamment le prix, le type d'acquisition du logiciel, la configuration requise, l'interopérabilité entre les versions d'un logiciel, les formats d'import/export et les supports disponibles. Ce dernier critère n'est pas facilement quantifiable car il existe énormément de sources payantes ou non permettant de s'aider dans le logiciel. Nous considérerons donc les communautés officielles gérées par l'éditeur lui-même.

ii. *Scénario*

Pour pouvoir comparer convenablement ces logiciels, nous devons établir un mini-scénario. Nous pouvons donc imaginer qu'une petite agence d'architecture (3 architectes) décident de passer au BIM et donc d'équiper 3 postes de ces nouveaux outils. Cela nous permettra aussi de nous rendre compte des économies ou non qu'il est possible de faire à cette échelle. Nous ferons l'étude sur 3 ans.

iii. Tableau comparatif

Critères	AUTODESK REVIT	GRAPHISOFT ARCHICAD	TRIMBLE SKETCHUP
Type d'acquisition	Abonnement	Achat	Achat
Prix TTC	366.00 €/mois 2 946.00 €/an 7954.20 €/3 ans	7 188.00 € 1 ^{er} poste 6 469.20 € 2 ^{ème} poste 6 110.40 € 3 ^{ème} poste	700.00€
Prix TTC mise à jour	-----	Sous forme de contrats de services renouvelables. 4380.00€ pour 3 ans	220.00€ par version (donc par an)
Prix sur 3 ans pour 3 postes avec mises à jour	23 862.00 €	31 813.20 €	4 080.00 €
Système d'exploitation	Windows	Windows Mac OS	Windows Mac OS
Configuration requise	La configuration requise est assez similaire pour les 3 logiciels sous Windows : <ul style="list-style-type: none"> - 8 Go de RAM - Processeur 64 bits (2+ GHz) - Carte graphique (1 Go ou plus) supportant l'accélération matérielle La seule différence étant l'espace pris par le logiciel sur le disque (plus de 5 Go pour Revit et ArchiCAD, environ 700 Mo pour SketchUp)		
Interopérabilité interne	Impossible de revenir à une version antérieure.	Possibilité de revenir à une seule version antérieure, par exemple de la version 21 à 20 (le processus n'est pas itératif même si on possède toutes les versions)	Possibilité de revenir à toutes les versions depuis la version 8 (avant 2012).

Formats d'export	Les formats d'export sont variés mais concernent surtout les logiciels de l'éditeur. Pour des fichiers de type ouvert il faut avoir recourt à des extensions ou des manipulations avec d'autres programmes.	Comme le logiciel n'est pas réservé à l'architecture, on retrouve des exports dans la plupart des formats 3D existants, ce qui permet de l'importer un peu partout.
Formats d'import	Les 3 programmes permettent d'importer de nombreux types de fichiers, notamment des fichiers 3D. L'import est plus ou moins efficace selon le format et le programme mais il est beaucoup moins aisé sur nos logiciels spécialisés (obligation de passer par un outil d'import spécial). En revanche, ces derniers peuvent importer des bases de données directement issues d'autres logiciels (non testé).	
Supports disponibles	Autodesk Knowledge Network : Une plateforme internet dédié aux utilisateurs du logiciel, qui agit comme un forum. Les modérateurs sont des employés de l'entreprise.	Plusieurs sources officielles : Help Center, SketchUp Community (idem que pour Revit) et SketchUcation (une plateforme parallèle pour le développement d'extensions, d'aide à la modélisation et à la programmation.)

Tableau II-5 - Comparatif des logiciels

iv. *Solution retenue*

Les solutions présentées dans ce tableau ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients. Il est très difficile de départager les deux logiciels spécialisés car ces derniers ont leurs particularités, chacun peut atteindre le niveau souhaiter à condition de se former suffisamment. Le logiciel SketchUp quant à lui est bien plus abordable que les autres propositions. En effet, en suivant notre scénario de départ, nous nous retrouvons pour 3 ans et 3 postes à près de 20 000,00 € d'écart dans un cas (Revit) et plus de 27 000,00 € dans l'autre cas (ArchiCAD). Pour une petite structure, cette différence peut-être très importante et permet une adoption du BIM à moindre coût. Sachant que l'aspect financier reste le premier frein pour le passage au BIM, notamment dans les petites agences, nous allons développer notre réflexion à partir de ce logiciel .

II.3.3. SketchUp

i. *Un logiciel BIM ?*

Le logiciel SketchUp n'est pas à proprement parlé un logiciel BIM. En tout cas il n'a pas été développé pour. Il s'agit avant tout d'un modelleur 3D, un programme conçu pour créer des modèles 3D (pas forcément pour l'architecture) à l'aide d'objets modélisés avec des fonctions primitives.

Toutefois, le logiciel permet d'ajouter de l'information aux objets créés, de les paramétrer et même de les classer selon le standard IFC. SketchUp a la possibilité donc depuis quelques années de lire et d'exporter au format IFC. Cette particularité, au sein des modelleurs 3D, lui permet de s'inscrire dans une démarche BIM, à condition de travailler de la bonne manière.

Ce programme a tout, ou presque, pour pouvoir réaliser des maquettes numériques architecturales enrichies avec de l'information encodée par le concepteur ou directement par le logiciel. De plus, sa grande liberté de modélisation permet de définir pour chaque projet la structure de la maquette. Cette structure, comme nous l'avons vu au II.2.5, peut être calquée sur le standard IFC et ainsi assurer, grâce à l'export IFC, l'interopérabilité de la maquette.

Cependant, comme il n'est pas conçu à la base pour la réalisation de maquettes BIM, SketchUp ne prévoit pas directement la possibilité d'échanges de maquettes ou de collaborations synchrones sur les modèles 3D.

ii. *Logique de modélisation*

La logique de modélisation de SketchUp est très simple, elle réside tout simplement dans la création d'objets géométriques en trois dimensions puis dans l'ajout d'information et de paramètres sur ces objets. Étant donné que le logiciel tout comme le format IFC sont basés sur des langages informatiques orienté-objet, il est nécessaire de garder cette logique dans notre modélisation.

Pour cela, nous allons devoir représenter la réalité constructive de la maquette à partir d'éléments uniques ou non qui composeront la base de notre modèle. Ces éléments sur SketchUp sont les groupes ou les composants. Ces entités permettent de regrouper des parties de dessin (arrêtes, faces, solides...) et de les définir. La différence entre les composants et les groupes réside dans leur comportement vis-à-vis de leurs copies. En effet, la particularité est que les composants sont liés avec les autres composants identiques, si on en modifie un les autres seront modifiés de la même manière. Les groupes quant à eux sont uniques, on peut bien sûr les copier et on gardera alors les propriétés mais les changements sur un n'affecteront pas les autres. C'est pourquoi il est très important d'analyser le besoin de l'élément pour choisir l'un ou l'autre car cela peut nous faire gagner ou perdre beaucoup de temps. On peut ensuite venir créer des groupes ou des composants de groupes et composants.

Reprenons l'exemple de notre table établi au II.2, on pourra créer des composants pour les pieds car ce sont les mêmes (à une rotation près) et un groupe pour le plateau car il est unique. On pourra mettre le tout dans un composant au cas où on aurait besoin d'avoir plusieurs tables identiques. On retrouve cette logique dans le schéma ci-dessous.

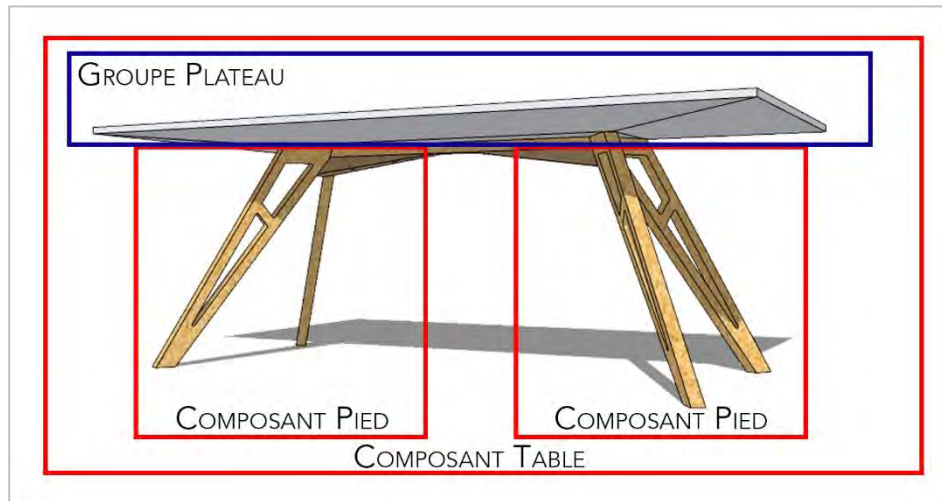


Figure II-5 - Assemblage groupe et composant

La structure d'un modèle plus complexe peut suivre la même logique. Si nous reprenons la structure IFC nous pourrions mettre dans un composant/groupe *Site* plusieurs composants/groupes *Bâtiment* qui contiendront eux-mêmes les composants/groupes *Étage* et ainsi de suite.

II.4. Questions de recherche

Les parties précédentes ont soulevé les problèmes rencontrés par les petites structures sur l'adoption du BIM. De plus l'étude de la maquette numérique ainsi que celle des outils informatiques proposés sur le marché nous ont guidés vers une question plus centrée autour de la réalisation du modèle 3D dans le cadre du processus BIM et de l'utilisation du logiciel SketchUp.

Il est donc légitime de se demander s'il est maintenant possible de réaliser un projet BIM pour une petite structure à l'aide de ce logiciel.

Il convient tout de même de préciser le questionnement dans la mesure où nous ne pouvons considérer que la partie réalisation et gestion de la maquette numérique ainsi :

Quelle méthodologie adopter pour la réalisation d'une maquette numérique BIM à l'aide de SketchUp?

Quelles sont les informations nécessaires à encoder dans notre modèle afin d'extraire et de partager les données relatives à notre bâtiment ?

Le but de la partie suivante, qui sera le noyau de ce TFE, est d'établir une méthode simple pour développer la conception et l'utilisation d'une maquette numérique à destination des petites structures pouvant servir sur une grande variété de projets.

III. MÉTHODOLOGIE ET APPLICATION

III.1. Stratégie de modélisation

Cette partie représente le cœur de notre travail. Les questions posées au chapitre précédent et les discussions associées nous ont amenées à imaginer SketchUp comme moyen de modélisation de la maquette numérique dans une démarche BIM. Nous allons établir durant les prochaines sous-parties un moyen d'y parvenir à travers plusieurs étapes.

III.1.1. Objectifs et étapes

Nous allons ici établir la liste des « livrables » attendus en fin de modélisation. Il s'agit d'une liste non exhaustive et suivant les besoins des agences, elle est tout à fait modifiable. Nous ne détaillerons pas chaque livrable dans sa totalité, cela prendrait beaucoup de place et n'aurait pas un réel intérêt.

Livrables :

- La maquette numérique complète au format natif (ici SketchUp) et IFC
- Les différents plans, coupes et élévations
- Les métrés des éléments à concevoir sur place ou en préfabrication
- Les nomenclatures de composants de la conception
- Une nomenclature des pièces

Le schéma ci-dessous (Figure III-1) reprend l'intégralité de la méthodologie que nous allons développer pour parvenir aux objectifs attendus. Elle se décompose en trois parties distinctes et permet de rendre compte des attentes d'une maquette numérique dans le processus BIM.

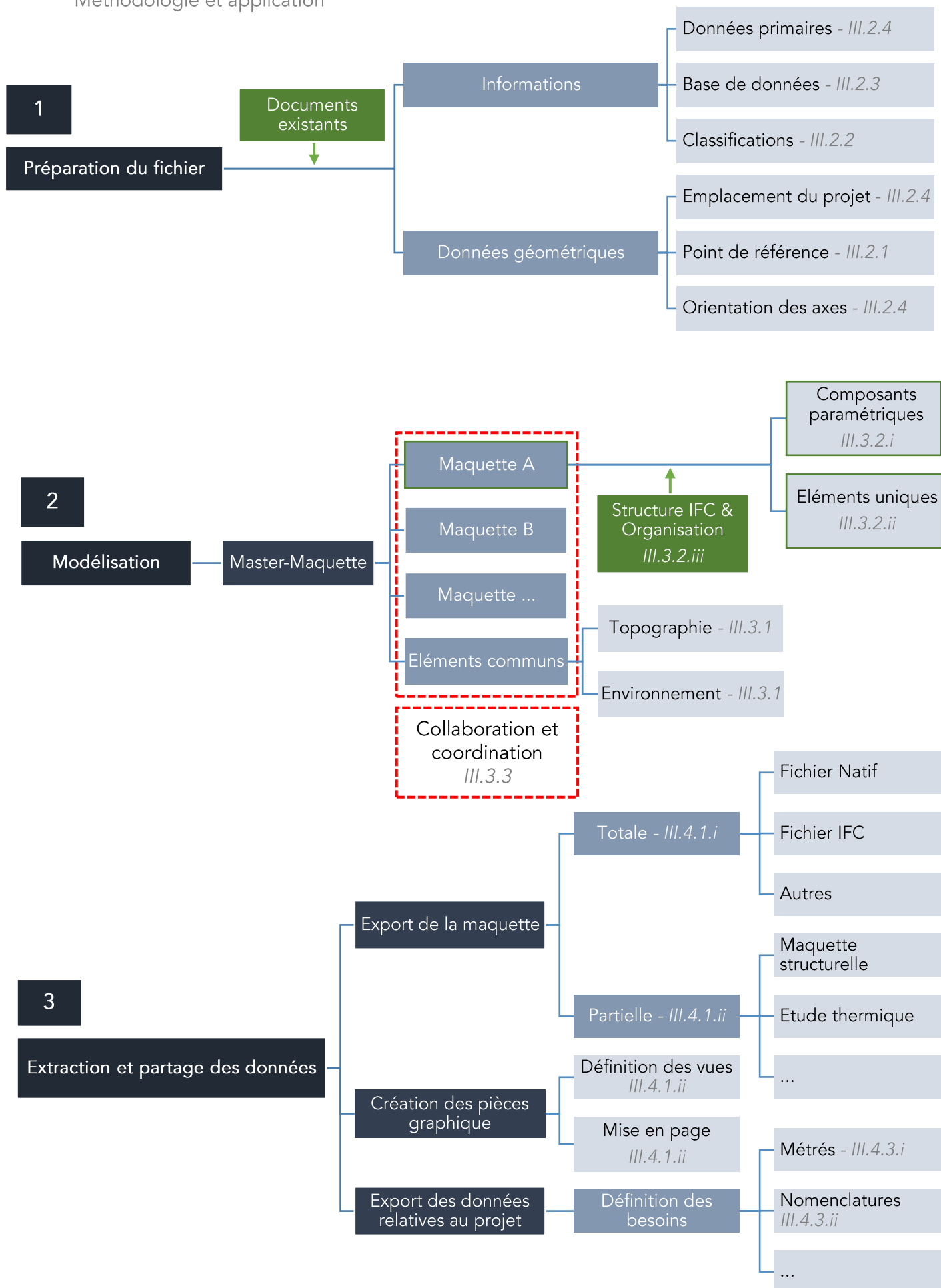


Figure III-1 - Schéma récapitulatif de la méthodologie

Le premier élément de la liste des livrables est l'export de la maquette dans le format IFC. Nous allons donc travailler dans cette optique et créer une classification IFC au sein du logiciel pour qu'il soit reconnu par d'autres. De plus afin de structurer au mieux notre fichier, nous allons également lui appliquer une classification personnelle (normée ou non) en fonction du type d'élément.

Pour mener à bien la conception nous travaillerons dans un ordre logique comme le décrit la liste ci-dessous et le schéma récapitulatif :

- **Préparation du fichier** : dans cette étape nous verrons les bases que doit contenir n'importe quel fichier de modélisation et comment le préparer pour qu'il soit adapté à une démarche BIM.
- **Topographie** : la modélisation du terrain est une étape primordiale pour la conception du projet. Nous aborderons les différentes manières d'obtenir la topographie à partir des données disponibles et ce que l'on peut extraire comme information.
- **Modélisation de composants** : la plus grande part de la modélisation sera présentée ici avec la conception des différentes sortes d'éléments. Nous verrons comment appliquer à un composant ou groupe des propriétés BIM (et IFC) ainsi que la manière de les rendre paramétriques. Nous étudierons aussi la mise en place de composants pour structurer le modèle.
- **Collaboration et coordination** : cet objectif est important pour concevoir au sein d'une démarche BIM. Nous verrons qu'il est possible grâce au logiciel SketchUp de pouvoir travailler ensemble, en même temps sur un même projet.
- **Extraction des données** : sans doute le plus grand avantage des maquettes numériques. Dans cette partie, l'export de la maquette ou encore la création de pièces graphiques et de métrés seront abordés.

Pour également gagner en productivité et pour avoir une logique de conception stable, nous travaillerons avec une structure de fichier proche de celle des fichiers IFC. Dans le logiciel, nous pouvons mettre des éléments dans d'autres. Il convient de noter que nous travaillerons donc par niveau. Le niveau 4 étant le seul qui contiendra des éléments « concrets ». Les autres auront plus une valeur organisationnelle.

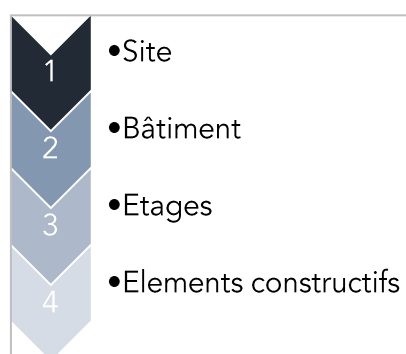


Figure III-2 - Structure du fichier

Note : Lorsque que cela sera possible, nous aurons l'élément de niveau plus élevé qui sera constitué uniquement de solides. L'utilisation de composant ou groupe solide dans un tel logiciel permet de récupérer très rapidement certaines propriétés, notamment le volume. Un élément solide est un élément composé de faces et d'arrêtes dont le volume interne est fermé et peut-être déduit par le logiciel. Il est très utile d'avoir également recours aux composants solides pour pouvoir effectuer des opérations booléennes (union, différence, soustraction de solides). Des plug-ins (comme Solid Inspector) permettent de mettre en évidence les défauts d'une forme modélisée pour qu'elle devienne un solide.

III.1.2. Principe

Pour cette méthodologie, nous allons travailler de la manière suivante. Grâce à un projet référent, nous allons étape par étape construire une suite complémentaire d'actions amenant aux différents objectifs voulus (voir Figure III-1).

Avant de déterminer le projet, il faut poser le contexte dans lequel nous allons travailler. Nous nous placerons en tant que petite agence d'architecture (maximum 4 architectes) dans laquelle deux architectes vont se voir confier la conception, l'architecte A et l'architecte B. Il ne s'agit pas ici de faire état de toute la démarche de la phase esquisse à la fin du chantier mais de proposer une démarche de modélisation qui s'intègre à toute étape du principe de conception et de réalisation d'un projet d'architecture.

Nous allons donc nous placer en phase PRO (ou projet), une phase où la conception est assez détaillée (LOD 200-300), la consultation des entreprises arrivant après. Les deux architectes ne commenceront pas forcément le travail au même moment et travailleront sur des parties distinctes du bâtiment.

Nous travaillerons sur un projet déjà réalisé et dont nous avons les plans. Il s'agit du bâtiment B52 du campus du Sart-Tilman.



Figure III-3 - Vue aérienne du Bâtiment B52

Ce bâtiment constitue un bon cas d'étude pour plusieurs raisons. Premièrement, il s'agit d'un bâtiment existant et il permet donc de travailler de manière réaliste sur la maquette. De plus, il s'agit d'un édifice qui a l'avantage de présenter à la fois des éléments préfabriqués mais aussi construits sur place. Enfin, malgré sa forme relativement régulière, il présente des singularités intéressantes pour notre modélisation (la forme de la toiture, l'entrée en retrait ou encore la ventilation faîtière). Sa taille importante mais néanmoins réalisable par une petite agence d'architecture, impose un nombre élevé de composants que l'on prendra soin de détailler à la fin de la démarche à l'aide de nomenclatures.

Nous ne modéliserons pas l'entièreté du bâtiment, l'objectif principal n'étant pas là, nous nous concentrerons surtout sur l'aile Nord du bâtiment conçue par l'architecte A (en bleu sur la figure suivante) et une toute petite partie de l'aile centrale pour l'architecte B (en jaune). L'intervention de B sera très limitée et ne nous aidera qu'à démontrer les possibilités de coordination et de collaboration au sein du logiciel.

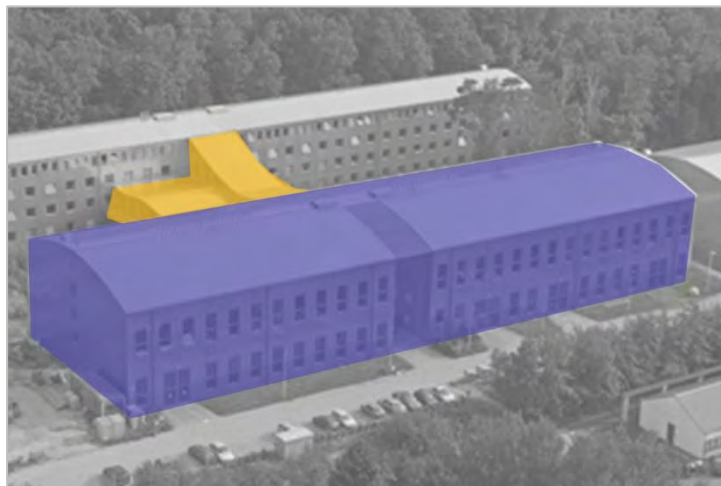


Figure III-4 - Distribution des zones de conception

Chaque étape sera conçue de la même manière. Une première partie nous expliquera l'objectif de l'étape, puis dans la plupart des cas les précautions à prendre (indépendamment du logiciel et enfin sa réalisation sous le logiciel SketchUp (ou autre quand ce sera le cas).

III.2. Préparation du fichier

Comme tout projet, la préparation du fichier de modélisation est primordiale pour travailler de manière correcte. Avant de se lancer « tête baissée » dans le projet, il est important de définir les variables qui ne changeront plus à partir de la phase Projet. De plus, sachant que nous allons simuler une collaboration entre deux architectes sur le même dessin, il est important que les bases mises en commun soient les mêmes et le restent jusqu'à la fin.

Pour cela nous allons créer une maquette générale qui contiendra les différentes « sous-maquettes » des différents acteurs (ici les deux architectes, mais pourquoi pas plus tard, celles des ingénieurs HVAC ou structure). Cette maquette contiendra un point de référence qui servira pour les autres ainsi que le système d'axes s'il y en a un et les limites du projet.

III.2.1. Point de référence

Dans la convention propre au projet ou par accord entre les parties, **il est défini un point précis du projet (dans les 3 dimensions) pour que chacun ait la même référence.** Un moyen très simple pour que cela fonctionne sans mésentente ou quiproquo est de placer ce point à l'origine des axes de la maquette.

Ceci étant il faut que ce point corresponde à quelque chose de concret sur le projet. Le choix est libre et dépend de l'avancée du projet. Cela peut-être un point du géomètre, une des limites de la zone de propriété ou bien un point d'intersection entre les files (guides) du projet.

Notre application se prête bien à la dernière solution puisque le bâtiment est très régulier et bénéficie d'une trame assez simple (espacée de 3,20m dans la longueur). Nous choisirons donc de définir comme point le croisement des files au nord du projet. Pour l'altitude nous choisirons le niveau fini du sol au Niveau -2 (Rez-de-Chaussée du bâtiment).

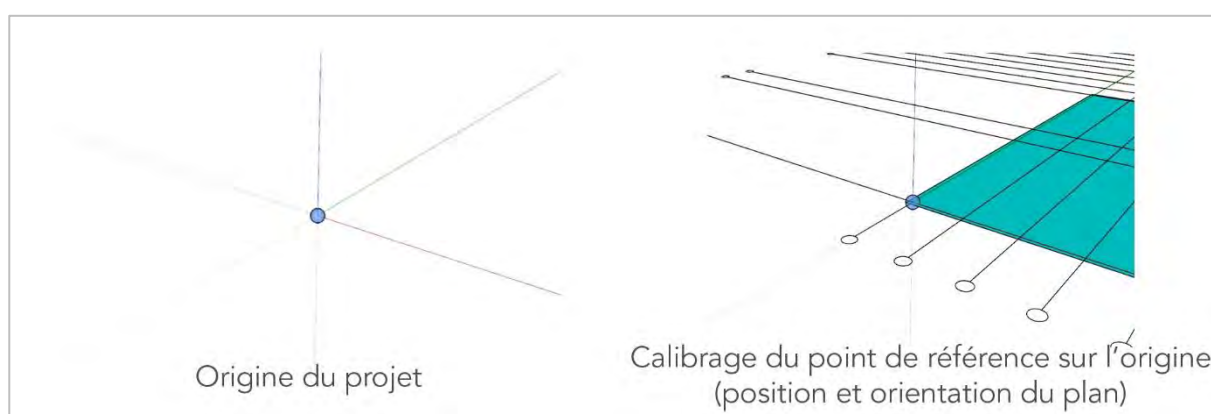


Figure III-5 - Détermination du point de référence du projet

On retrouve sur la figure ci-dessus en bleu, l'emprise au sol du projet qui nous permettra de mieux nous situer. Une fois les axes tracés et l'emprise dessinée, il est important que ces derniers restent en place quoi qu'il arrive. Nous allons donc créer un groupe avec ces éléments que nous plaçons dans un calque AXES. On verrouille ensuite le calque

(Edition/verrouiller) pour que cela ne puisse plus être modifié. On peut effectuer de même pour les différents niveaux si ceux-ci sont déjà définis. À noter que les axes peuvent être modifiés par la suite (orientation) pour faciliter le travail mais l'origine restera toujours au même point sur SketchUp.

III.2.2. Création des calques

Comme expliqué précédemment, **nous allons effectuer une « double classification »**, à la fois pour l'IFC mais également pour la compréhension du projet. Cela ne demande pas plus de travail et permet d'être mieux organisé. Nous allons donc créer toute une série de calques qui sera commune (dans ce cas-ci aux architectes). Cette liste est non exhaustive et pourra être complétée par la suite si des éléments non prévus viennent s'ajouter. **Cette classification permettra par la suite de pouvoir extraire les données de la maquette par catégories et ainsi gagner un temps précieux.** Nous pouvons donc définir pour le départ les catégories suivantes :

Catégorie	Nom du calque
Ascenseur	ARC - ASC
Colonnes	ARC - COLONNE
Escaliers	ARC - ESC
Fondations	ARC - FOND
Isolation	ARC - ISO
Menuiseries extérieures	ARC - MEN EXT
Menuiseries intérieures	ARC - MEN INT
Mobiliers	ARC - MOBILIER
Murs extérieurs	ARC - MUR EXT
Murs intérieurs	ARC - MUR INT
Murs rideaux	ARC - MUR RID
Planchers	ARC - PLANCHER
Poutres	ARC - POUTRE
Revêtement	ARC - REV
Topographie initiale	ARC - TOPO INI
Topographie projet	ARC - TOPO PRO

Tableau III-1 - Liste des calques (non exhaustif)

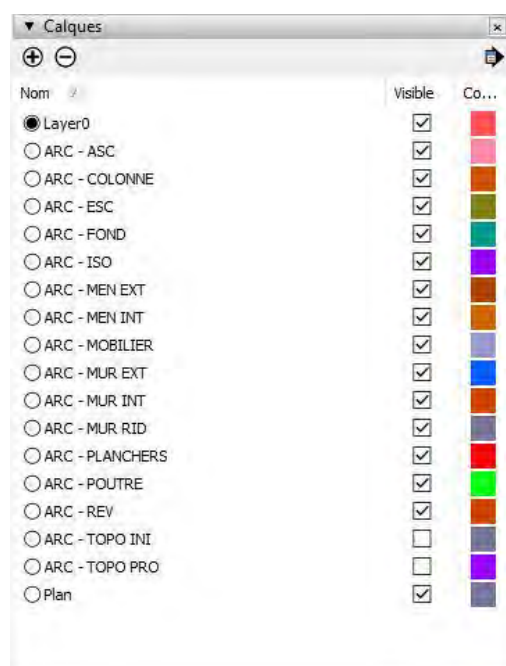


Figure III-6 - Fenêtre des calques sur SketchUp

Comme on peut le voir sur le tableau ci-dessus, nous avons une liste de calques commençant tous par ARC, pour ARChitecte. Ce préfixe n'est pas nécessaire dans le cas présent mais peut être utile en cas de collaboration avec d'autres corps de métier (on pourra utiliser STR pour la structure ou ELEC pour l'électricité par exemple).

Les éléments à ranger dans les calques seront les composants correspondants, c'est-à-dire que les escaliers iront dans le calque ARC – ESC. **Tous les éléments de dessin (ligne, courbe, face...) sont tracés dans le calque par défaut (Layer0) et seuls les composants**

sont rangés dans ce calque pour éviter toute erreur d'affichage lors de la manipulation des calques.

III.2.3. Création d'une base de données

C'est un des éléments importants de la démarche BIM, **une base de données accessible pour tous ce qui modélisent sur le même fichier**. Il faut que dans notre cas, les deux architectes aient accès aux mêmes éléments pour qu'il n'y ait pas de doublons ou des informations erronées. Avant donc de commencer le projet, il est nécessaire de créer (ou référencer s'il existe déjà) un dossier avec les composants dont on aura besoin dans le reste du projet. Cette base de données est un simple dossier organisé où l'on va retrouver les différents éléments utiles. Bien sûr, ce dossier sera complété au fur et à mesure de la modélisation et constituera à la fin l'ensemble des objets utilisés.

Il faut donc venir créer ce dossier sur l'ordinateur (ou le réseau s'il y a). Le dossier existe par défaut sur SketchUp mais n'est accessible que par l'utilisateur de l'ordinateur car il se trouve dans les fichiers d'installation du logiciel. Comme nous avons décidé de travailler notre collaboration à l'aide d'un cloud, nous allons tout simplement créer le dossier sur celui-ci pour qu'il soit accessible par les différents acteurs. Pour qu'il soit le plus efficace possible, nous allons ranger les différents composants dans des sous-dossiers correspondants à ceux des calques.

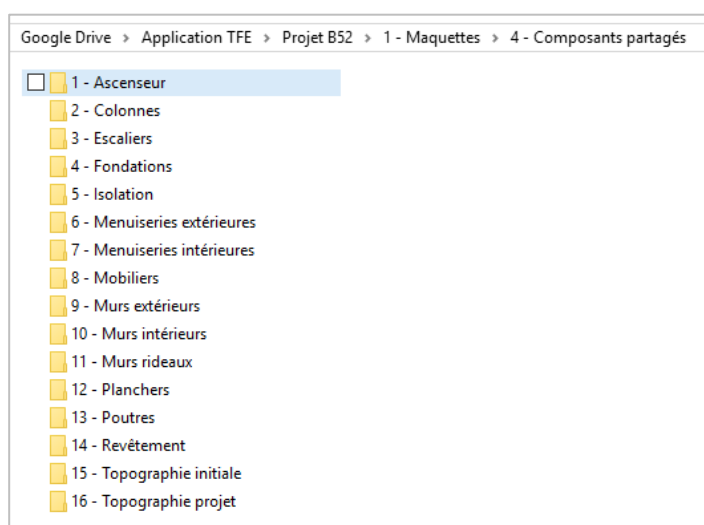


Figure III-8 - Création des dossiers de la base de données

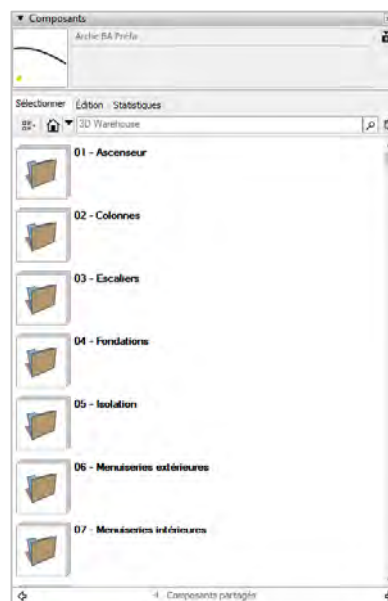


Figure III-8 - Base de données sur SketchUp

Il suffit ensuite d'affecter ce dossier comme base de données dans notre fichier SketchUp. Dans la palette composant, on indique le nouveau dossier de la base de données et tous nos éléments apparaissent dans une arborescence similaire. **Cette base de données peut très bien être commune à tous les projets mais dans la mesure où différentes personnes**

interviennent dans chacun des projets, il est préférable d'en créer une à chaque fois pour éviter tout problème lié à la propriété intellectuelle.

III.2.4. Informations relatives au projet

La maquette générale va contenir tout le site, il est donc légitime que ce soit elle qui contienne les informations relatives au projet. On retrouve généralement l'auteur de la modélisation, sa géolocalisation (position, altitude, orientation par rapport au nord), l'emplacement du fichier mais aussi des données plus techniques comme les unités utilisées, les styles de mise en forme...

Commençons tout d'abord par la localisation. Cette donnée est très importante car elle va permettre d'effectuer plusieurs études par la suite. Nous pourrons grâce à une bonne géolocalisation, étudier la course du soleil sur notre bâtiment à différents moments de l'année ou réaliser une étude thermique plus poussée (avec d'autres logiciels ou des extensions) grâce à notre emplacement et notre orientation.

Associé à la fois à OpenStreetMap et Google Maps, SketchUp permet de géolocaliser très rapidement notre projet grâce aux vues satellites ou à un plan (Fichier/Géoposition/Ajouter un emplacement). On peut si on le souhaite encoder directement les coordonnées GPS.

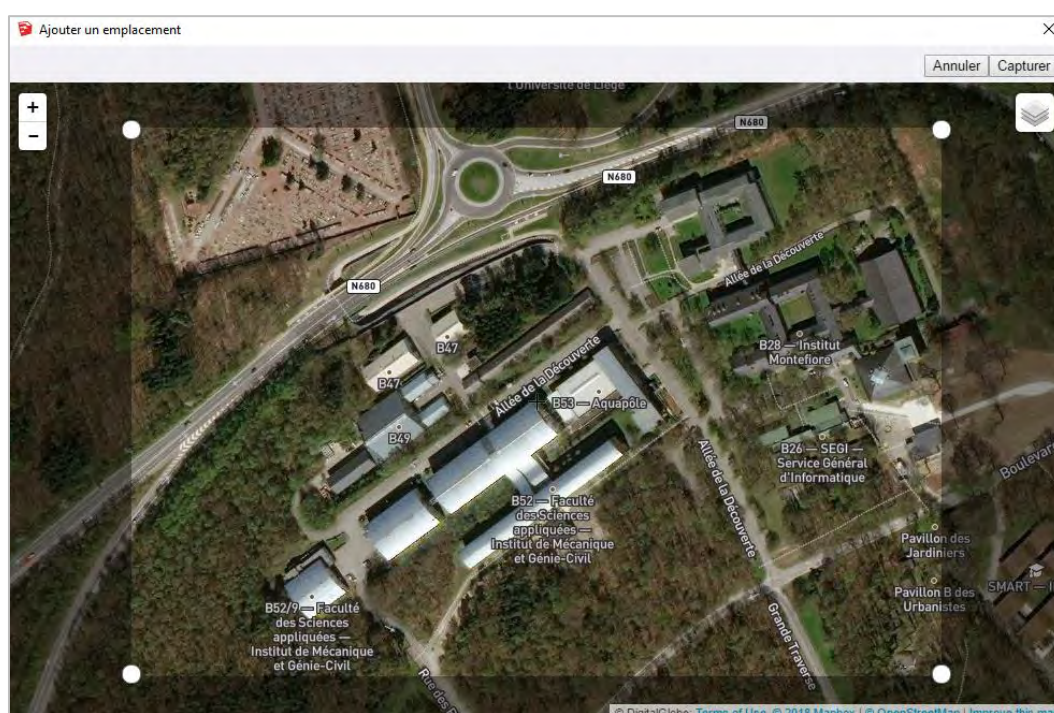


Figure III-9 - Géolocalisation du projet

Une fois le projet localisé, il va falloir s'arranger avec l'orientation. En effet, les axes du bâtiment ne sont pas en accord avec ceux par défaut de SketchUp. Plusieurs solutions s'offrent à nous. Nous pouvons soit faire pivoter les axes du modèle (Outils/Axes) soit faire pivoter le projet avec le Nord également pour que tout soit aligner avec les axes par défaut. Les deux solutions se valent et sont à l'appréciation de chacun. Cependant la deuxième est pour nous moins sujette aux problèmes ultérieurs. En effet si on doit transférer la maquette

ou effectuer d'autres manipulations il sera plus aisé de rester avec les axes par défaut et ainsi éviter toute erreur de rotation.

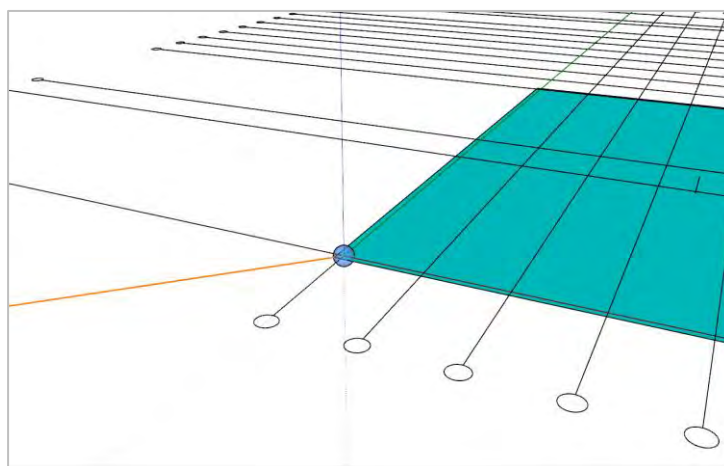


Figure III-10 - Modification position du nord

Dans notre cas, on choisit donc une rotation des guides de dessin et du nord selon les axes par défaut (voir Figure III-5). Pour le nord, il suffit d'installer l'extension *Solar North* qui permettra de venir modifier la position du nord très facilement. Sur la figure ci-dessus, nous avons orienter le nord selon le projet et non l'inverse.

Les autres informations utiles à renseigner sont dans la boîte de dialogue *Infos sur le modèle* (Fenêtre/Infos sur le modèle). On retrouve par exemple l'onglet crédits qui indique la propriété de la maquette et celle des composants qui la composent.

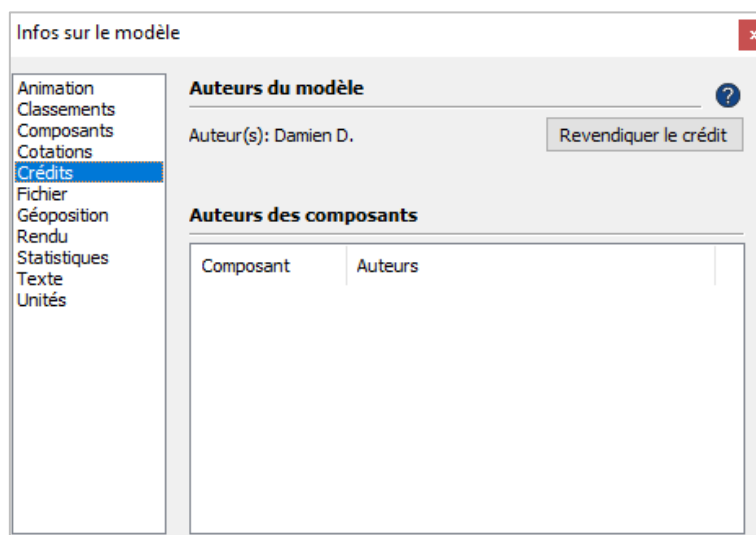


Figure III-11 - Propriétés des éléments de la maquette

III.3. Modélisation

III.3.1. Topographie

Ce qui est important de garder à l'esprit est l'objectif à atteindre avec cette partie de la modélisation. **Nous voulons à la fois une bonne représentation de la topographie (plan, coupe, façade mais aussi perspectives) mais également des informations toutes aussi utiles.** On pense naturellement aux calculs de déblai et remblai ou encore la gestion des écoulements des eaux.

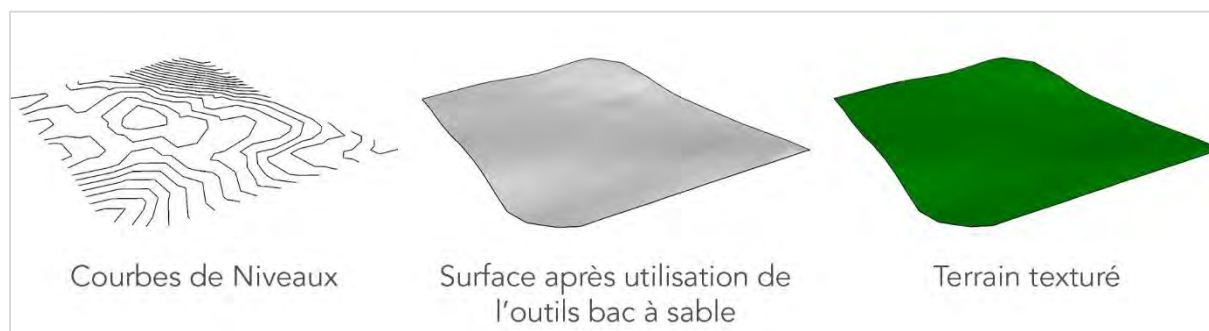


Figure III-12 - Modélisation de la topographie

Plusieurs solutions existent pour modéliser la topographie sur SketchUp, tout dépend des données que nous avons au départ. Généralement pour un projet d'une certaine ampleur, un géomètre vient effectuer un relevé et fourni un fichier très détaillé d'altitude de points. On peut également avoir un fichier type CAO avec les courbes de niveau. Dans ces deux cas la réalisation du terrain en 3D sera très rapide avec l'utilisation de l'outil *bac à sable* (voir figures ci-dessus). Dans d'autres cas, on peut également importer le terrain directement.

À partir de notre terrain créé au-dessus, nous allons pouvoir modéliser un solide dont la face supérieure sera notre topographie. Cette étape nous permettra par la suite d'effectuer directement une opération booléenne sur le terrain et ainsi évaluer la quantité de terre à enlever ou rajouter. À noter qu'il est préférable de garder les deux terrains, avant et après pour avoir une trace de l'existant sur les documents à fournir.

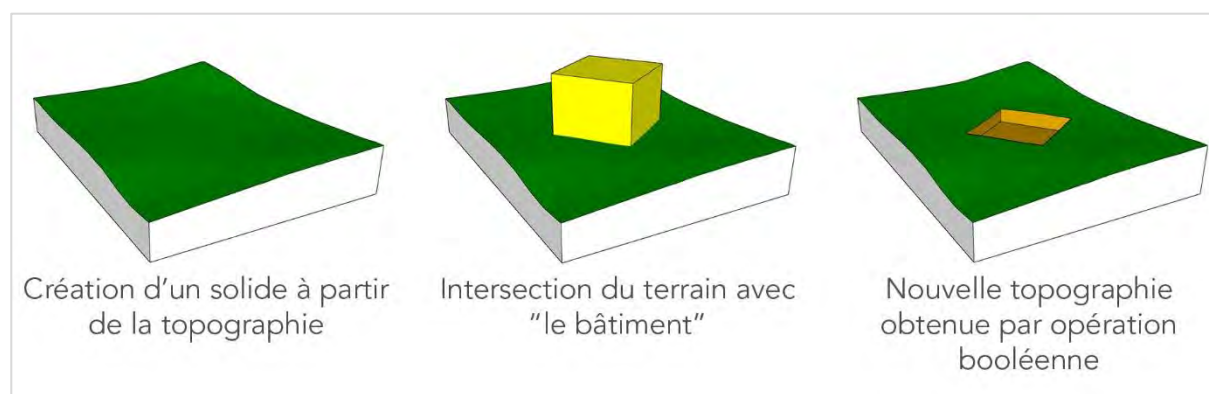


Figure III-13 - Création de la topographie modifiée

Dans notre exemple, nous allons pour le moment extraire de la topographie la trace du bâtiment. Nous pourrons revenir par la suite modifier l'évidement en fonction des sous-sols et des fondations présentes mais aussi des voies de circulation aux alentours.

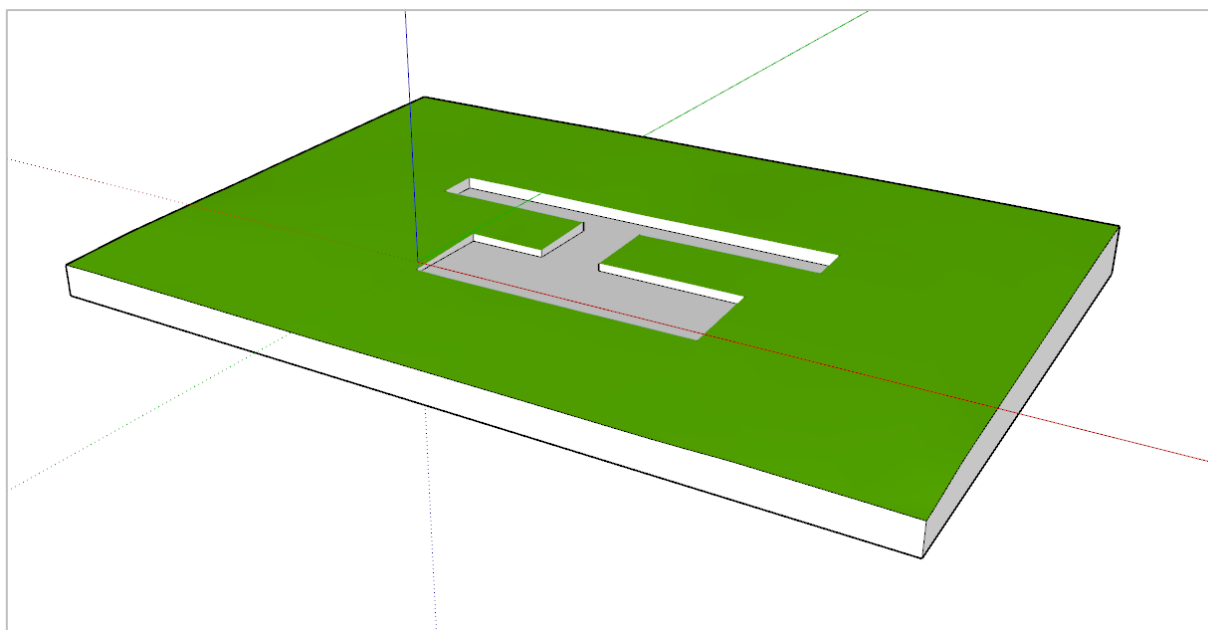


Figure III-14 - Modification de la topographie avec l'empreinte du bâtiment

III.3.2. Modélisation d'un élément

Nous nous trouvons ici dans la partie centrale de la modélisation. Il s'agit de modéliser l'entièreté de la maquette grâce aux éléments qui la composent. Chacun est libre de l'ordre à suivre pour l'assemblage du modèle. Généralement, on peut soit effectuer une modélisation par type d'éléments, c'est-à-dire que l'on vient dessiner tous les murs puis tous les planchers et ainsi de suite, soit modéliser par espace (par étage ou pièce par exemple). Il n'y a ni bonne ou mauvaise solution.

Suivant la nature de l'élément, la façon de le modéliser ne va pas être la même et les informations que l'on souhaite y intégrer vont également varier. Le choix du projet nous permet de modéliser à la fois des éléments qui vont être destinés directement à la préfabrication ou à la réalisation sur chantier. Il est important avant de se lancer dans la modélisation d'un objet de réfléchir à la manière dont on va s'y prendre et ce dont on aura besoin par la suite.

Pour ce présent TFE, nous n'allons bien sûr pas détailler l'entièreté de la démarche et la modélisation de chaque élément mais quelques types qui couvriront nos besoins. **Nous distinguons trois sortes d'éléments :**

- **Les éléments paramétriques :** il s'agit des composants que l'on va beaucoup utiliser dans notre projet et dont il est possible de définir des paramètres pour qu'ils s'adaptent à nos besoins. Par exemple, nous allons modéliser une poutre rectangulaire

en indiquant les dimensions de son profil et sa longueur. Cela nous évitera par la suite de devoir modéliser un nouveau composant si la poutre ne fait pas la même taille.

- **Les éléments à usage unique** : Ce sont principalement des masses comme les murs ou les dalles qui peuvent être réalisées très rapidement et dont la forme ne permet pas un usage paramétrique ou s'ils sont uniques. Plusieurs raisons peuvent en être la cause, comme la forme des ouvertures ou un profil irrégulier.
- **Les éléments organisationnels** : on entend ici tous les éléments qui ne représentent pas une réalité constructive. Il s'agit des pièces ou encore des étages. Comme vu dans la stratégie de modélisation, ils contiennent d'autres éléments mais sont eux-mêmes des éléments à part entière.

i. Composants paramétriques

Un aspect méconnu de SketchUp est sa possibilité de réaliser des composants ou objets qui « changent » en fonction des paramètres que l'on encode, les composants dynamiques. Il s'agit de paramètres très variés (voire infinis car on peut en créer autant que l'on veut) qui peuvent influencer la taille (dans les 3 dimensions), les mises à l'échelle, l'apparence... L'avantage de ces éléments est qu'ils sont très simples à modéliser et à paramétrer contrairement à ceux des logiciels BIM actuels.

Prenons par exemple la modélisation d'une poutre de section rectangulaire. Les paramètres dont nous aurons besoin sont la largeur et la hauteur du profil ainsi que la longueur totale. Les autres informations nécessaires seront la localisation, qui sera directement indiquée car elle sera placée dans le bon niveau et son matériau qui la compose. Il est possible que d'autres informations puissent être utiles par la suite (coût, phasage) mais cela ne pose pas de problème car nous pourrons tout à fait revenir sur le composant pour lui ajouter des paramètres par la suite.

Pour la création d'un composant, deux solutions sont envisageables. Nous pouvons modéliser le composant au sein de la maquette ou dans un fichier à part. Cette dernière proposition évite dans le cas d'une maquette lourde de devoir tout ouvrir et d'interagir avec d'autres éléments. Pour donner du contexte, le menuisier qui réalise les fenêtres pourra réaliser un objet paramétrique seul que l'on viendra ajouter par la suite dans la maquette.

Comme pour les maquettes, l'important est de définir un point de référence qui sera le point d'insertion sur la maquette. Nous créons pour commencer un simple parallélogramme qui ressemble à notre poutre rectangulaire (Figure III-15).

Nous allons ensuite créer un composant en sélectionnant la géométrie et effectuer l'opération *Edition/Créer un composant...* Une fenêtre s'affiche (Figure III-16), et nous pouvons remplir les premières informations relatives à l'objet.

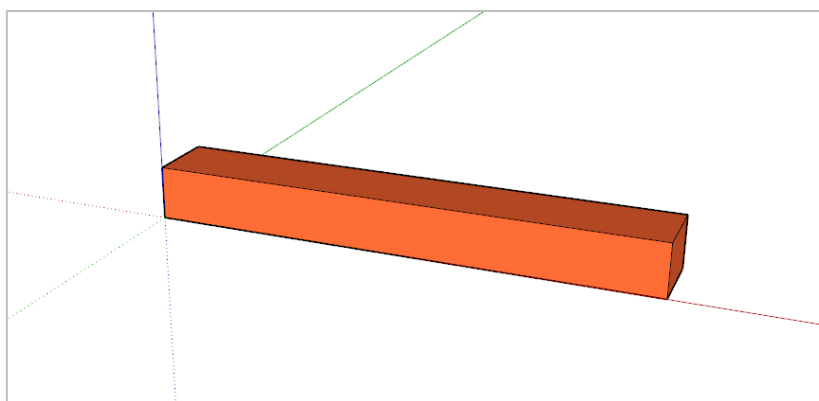


Figure III-15 - Création d'une poutre paramétrique (1)

Figure III-16 - Création d'une poutre paramétrique (2)

Plusieurs champs sont à remplir, la *définition* est obligatoire et les autres sont facultatifs. Une brève description permet de mieux comprendre le composant (ici, cela est relativement simple). Dans les alignements on retrouve la notion de liaison, qui permet de verrouiller la mise en place de l'objet sous certaines conditions (sur une face verticale, horizontale...) et aussi la définition des axes si on veut les changer. Il faut faire attention avec cette option pour éviter toute erreur et il est préférable de définir une convention pour la création des composants (axe rouge - longueur (X), axe vert - largeur (Y) et axe bleu hauteur (Z)).

Pour les attributs avancés nous pouvons encoder le type qui correspondra à notre classification IFC. Pour une poutre, nous choisissons *IfcBeam*.

Nous allons maintenant paramétrer ces dimensions. Pour cela nous utilisons l'outil *Attributs du composant* (*Affichage/Barre d'outils... cocher composants dynamiques*). Des icônes apparaissent (Figure III-18) et en cliquant sur les attributs nous obtenons une fenêtre dans laquelle nous allons pouvoir rentrer des formules (Figure III-17).

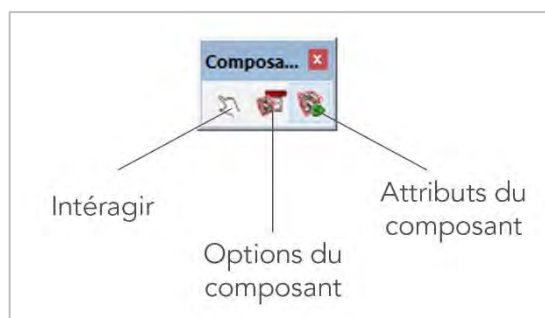


Figure III-18 - Création d'une poutre paramétrique (3)

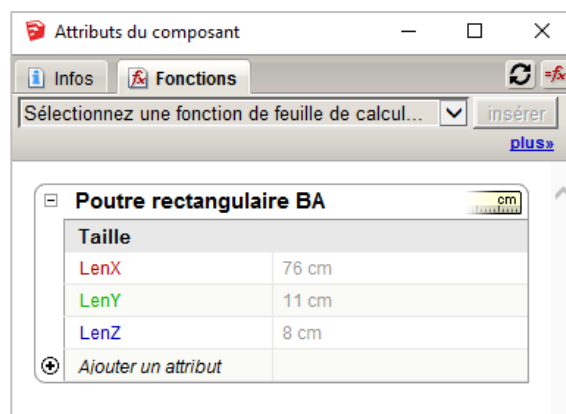


Figure III-17 - Création d'une poutre paramétrique (4)

Cette fenêtre permet d'ajouter des attributs ou propriétés à notre composant. Elle marche en binôme avec celle des options où l'on encodera les valeurs numériques choisies. Pour la largeur et la hauteur nous choisirons un encodage dans un champ dédié et pour la longueur, nous allons verrouiller la mise à l'échelle du composant pour qu'elle ne puisse s'effectuer que selon l'axe X. Nous décidons en plus de créer un paramètre pour le type de béton utilisé (Figure III-19).

Pour cet élément, le paramétrage est très simple, mais rien ne nous empêche de créer des éléments plus compliqués. On peut penser à des fenêtres où toutes les parties qui la composent peuvent être ajustables (épaisseur des huisseries, nombre de meneaux, dimensions...). Ces données peuvent être soit encodées manuellement comme nous le faisons soit choisies dans une liste comme dans un catalogue.

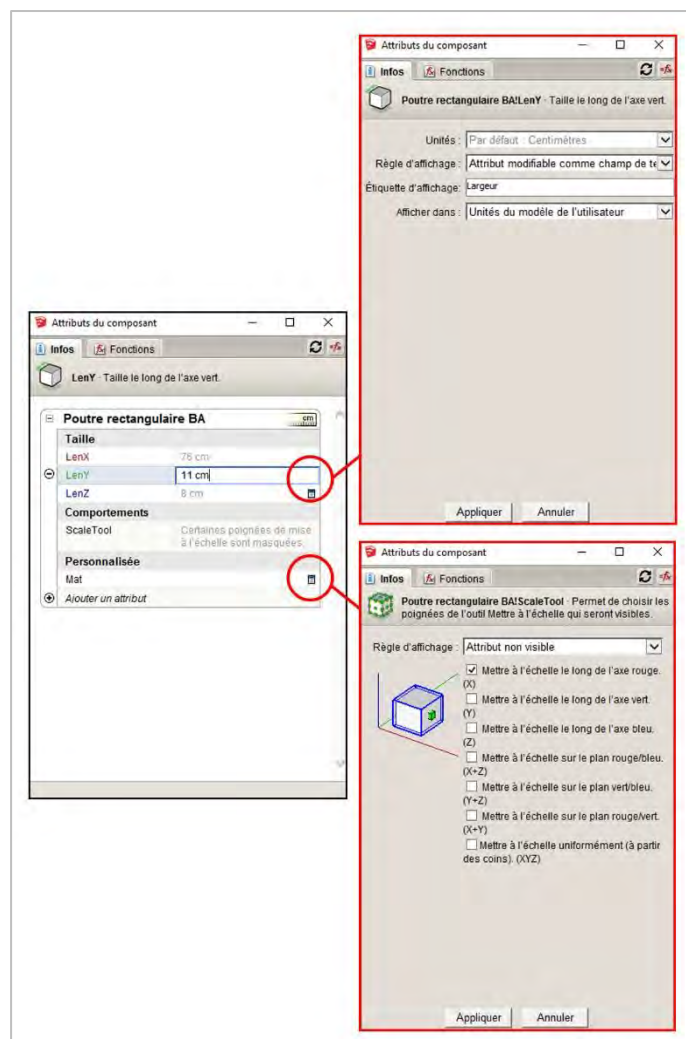


Figure III-19 - Création d'une poutre paramétrique (5)

Une fois les paramètres créés, à l'aide de la fenêtre *Options du composant*, il nous est possible de les modifier selon nos besoins.

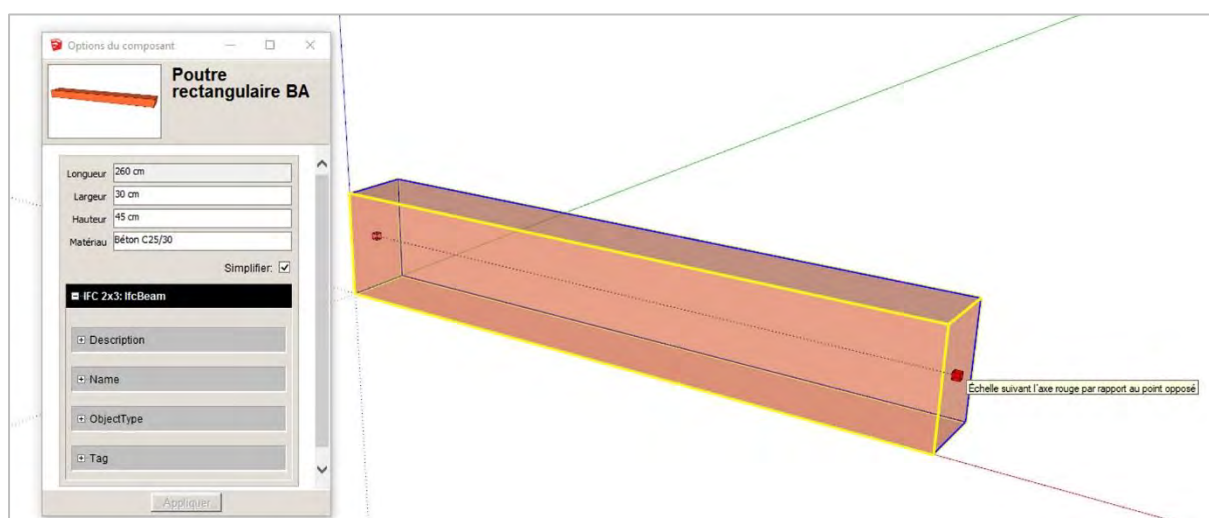


Figure III-20 - Création d'une poutre paramétrique (6)

Pour synthétiser notre démarche, on retrouve dans le tableau ci-dessous les différents paramètres ainsi que ceux du coût et du phasage.

Nom	Attributs	Formules	Type de variable
Longueur	LenX	Modifiable par étirement ou encodage manuel	Valeur numérique
Largeur	LenY	Encodage manuel	Valeur numérique
Hauteur	LenZ	Encodage manuel	Valeur numérique
Matériau	Mat	Encodage manuel	Chaîne de caractère
Coût/m ³	cout_m3	Encodage manuel	Devise
Coût de l'élément	cout	=LenX*LenY*LenZ*cout_m3 (pas de modification possible – seulement affichage)	Devise
Phasage	phase	Encodage manuel	Valeur numérique

Tableau III-2 - Liste des paramètres utilisés pour la poutre

Tous ces paramètres pourront être récupérés lors de l'extraction des données (métrés, nomenclatures...) et donc il est important de bien les renseigner. Pour le phasage, il sera possible de récupérer les données vers un logiciel adéquat (MS Project par exemple) et dans ce cas une numérotation judicieuse devra être mise en place. Pour les postes et sous-postes on pourra dans ce cas fonctionner avec des numérotations à niveaux (1, 1.1, 1.1.1).

Pour finir il ne nous reste plus qu'à enregistrer le composant créé dans notre base de données pour qu'il apparaisse dans notre arborescence de projet. On peut voir dans la liste les éléments avec leur description et le propriétaire de l'objet.

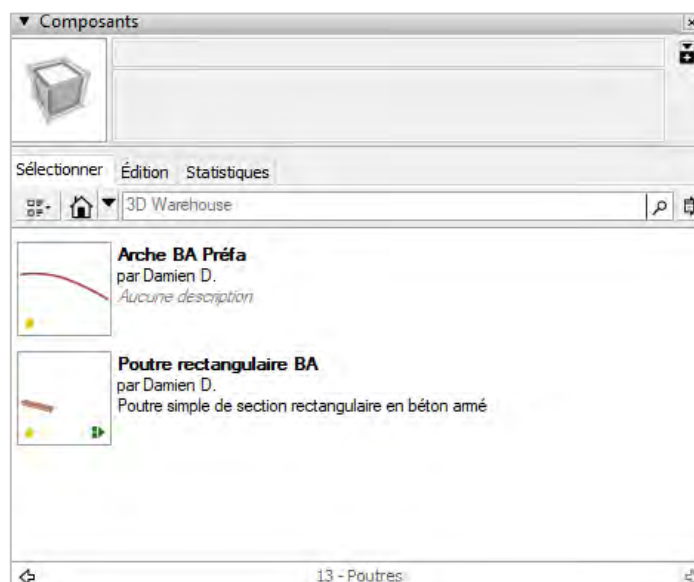


Figure III-21 - Création d'une poutre paramétrique (7)

ii. Éléments uniques

Comme les composants paramétriques, nous allons pouvoir ici créer des éléments à usage unique. Par élément unique on entend des éléments qui ne peuvent pas être régis par des formules simples à l'image des poutres précédentes ou qui ne seront pas utilisés plusieurs fois dans le projet. **Nous pouvons penser à des murs coulés sur place avec des percements, à une isolation de toiture ou encore à un élément architectural dont la forme reste compliquée à paramétrer avec le logiciel.**

Ces éléments vont être « fabriqués » à l'aide de groupes sur le logiciel. Pour rappel, les groupes sont des entités sur SketchUp qui, même lorsqu'ils sont copiés, ne sont pas modifiés par l'action sur l'un d'entre eux, contrairement aux composants.

On connaît quelques avantages à utiliser des groupes au lieu de composants dans ce cas-ci. Premièrement cela nous permettra de modéliser deux éléments différents avec le même nom. Imaginons que l'on dessine plusieurs dalles coulées sur place ayant les mêmes propriétés (Matériau, épaisseur, finition...), il sera bien évidemment plus intéressant de les nommer de la même manière car ce sont les mêmes à une géométrie près. L'utilisation de composants n'aurait pas pu être aussi pertinente. L'autre avantage est que même en les copiant on garde les propriétés (ou attributs) tout en pouvant les modifier par la suite au cas par cas.

Cependant, le fait que ce ne soient pas des composants ne nous permet pas de les enregistrer dans la base de données. Ce problème peut être contourné rapidement avec un copier-coller d'un projet à un autre mais cela est moins pratique pour la gestion des fichiers.

Pour notre application, nous allons modéliser la toiture. Elle constitue un élément complexe qu'il est compliqué de paramétrer. Comme pour les murs ou les sols, il est possible de la concevoir de deux façons différentes, soit en créant un groupe multicouche soit en créant les couches les unes après les autres.

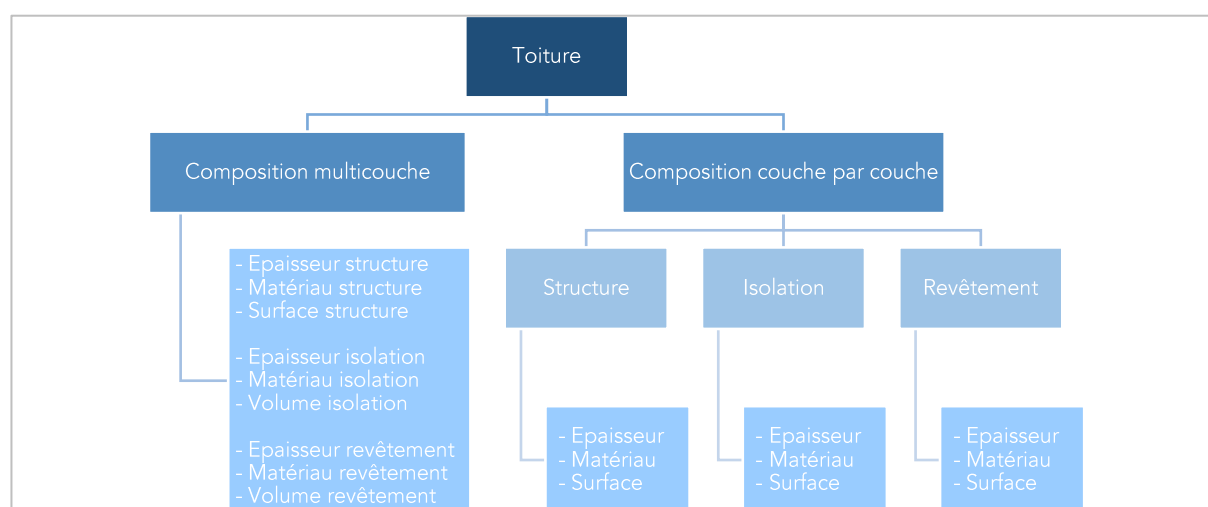


Figure III-22 - Paramètres nécessaires pour une composition de parois

Chacune des méthodes a ses particularités et c'est donc un choix qu'il faut faire au départ. En effet, l'une ou l'autre n'est ni bonne ni mauvaise mais il faut que cela soit cohérent avec l'ensemble du projet.

Dans le schéma ci-dessus (Figure III-22), on peut voir les différents paramètres relatifs à la géométrie que l'on va devoir encoder dans l'élément. La première méthode (celle de la paroi multicouche) est en réalité assez complexe car elle nous oblige à créer 9 paramètres dépendant les uns des autres. En effet, une modification de la couche structurelle va modifier celle de l'isolation et ainsi de suite. Nous allons donc nous tourner vers une solution plus simple, celle de la création des couches les unes après les autres. Celle-ci a en plus l'avantage d'être mieux acceptée dans les logiciels de simulation thermique où il est préférable de gérer les couches qui ne sont pas dans un même complexe.

La stratégie adoptée pour un tel élément est un peu différente de celle vue auparavant. C'est-à-dire que **l'on va modéliser chaque couche de la toiture dans sa forme quasi-définitive avant d'encoder les informations**. Cette méthode est obligatoire car nous allons effectuer des opérations booléennes sur le solide créé qui écrasent toute donnée implémentée auparavant.

Avec le schéma ci-dessous on compare les deux logiques de conception d'élément. La grande différence réside dans la nature de l'information. L'une va être présente relativement tôt dans la conception et va influencer sur la géométrie. Quant à l'autre, elle se contente d'être descriptive et ne peut permettre de modifier le composant.

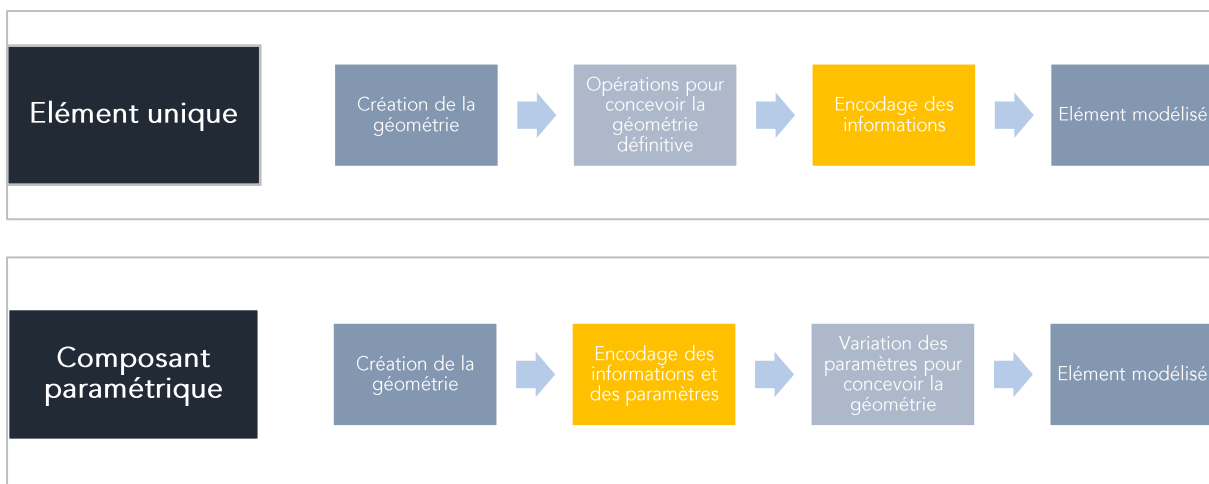


Figure III-23 - Comparaison des logiques de conception d'éléments

Reprenons la modélisation de notre bâtiment, comme on peut le voir sur le modèle avancé (Figure III-24), la plupart des murs extérieurs ont été créés (notamment les éléments préfabriqués) et la structure interne est présente.

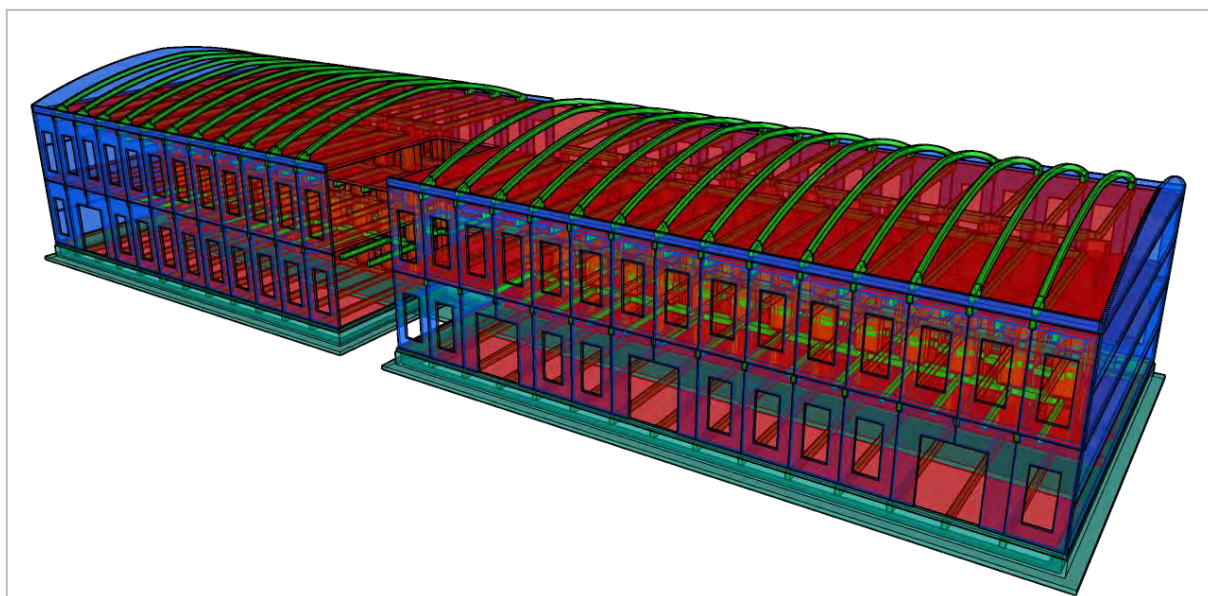


Figure III-24 - Maquette numérique – 1^{er} état d'avancement

Les couleurs sont attribuées automatiquement en fonction du type d'élément, on retrouve par exemple en vert toutes les poutres. Pour concevoir la toiture, qui suit la forme des arches que l'on peut distinguer ci-dessus, nous allons d'abord créer le profil pour l'extruder par la suite puis enlever les zones superflues à l'aide d'opérations booléennes.

Nous profitons de la création de la toiture pour créer un calque toiture (ARC – TOITURE) qui n'existait pas encore. Nous modélisons donc la structure, qui en réalité est un ensemble de dalles préfabriquées, puis l'isolation et enfin le revêtement. La modélisation restant en phase projet, les chevrons et voliges ne doivent pas nécessairement être modélisés mais le devront par la suite (LOD 400 et phase EXE). Dans la vue ci-dessous, nous avons la composition de la toiture.

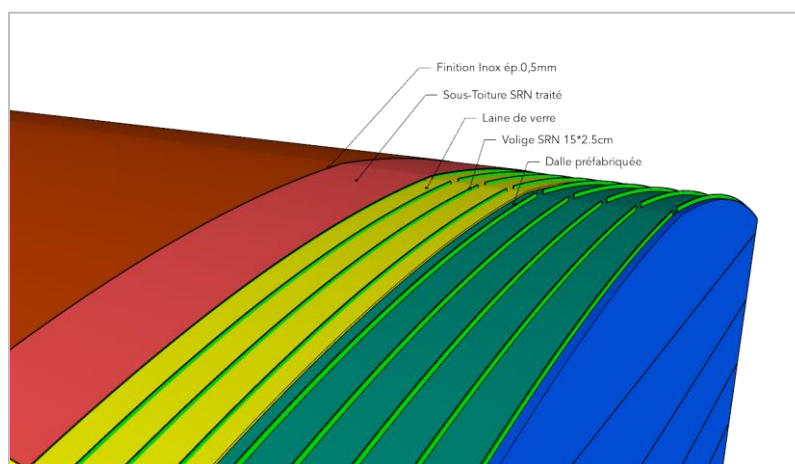


Figure III-25 - Composition de la toiture

Il va falloir maintenant découper ces différentes couches au droit des ouvertures. La toiture a été conçue pour être ventilée au niveau du faîtage sur toute sa longueur avec également les sorties des systèmes de ventilation (voir Figure III-26). L'entrée nord-ouest du bâtiment est également un point particulier car elle est en retrait et l'extérieur est couvert par une toiture d'acier et de polycarbonate suivant la toiture primaire. Pour réussir ce « découpage », nous allons tout simplement créer des solides qui par soustraction avec la toiture vont créer les ouvertures.

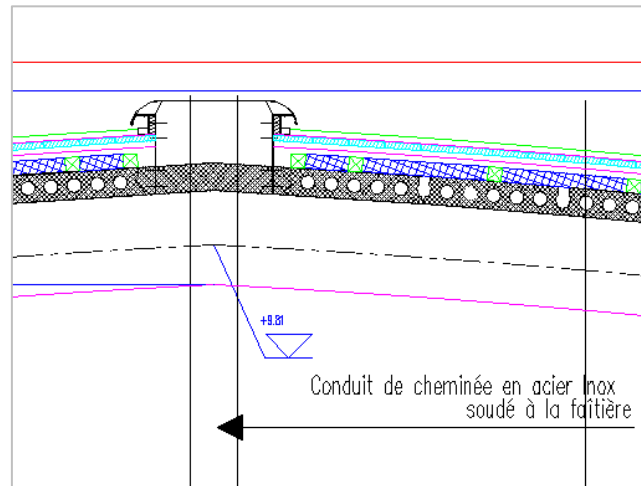


Figure III-26 - Coupe de la toiture (document de base)

Nous modélisons donc deux solides, un pour la ventilation faîtière et l'autre pour l'entrée nord-ouest. Il convient de rappeler qu'il faut pour des opérations booléennes que les objets en question soient des solides, c'est-à-dire des éléments fermés et correctement dessinés dont le volume interne peut être déduit par le logiciel (voir III.1). Pour les voliges par exemple, il est préférable de venir effectuer la modification sur l'un des composants pour éviter de devoir faire la manipulation de soustraction sur tous.

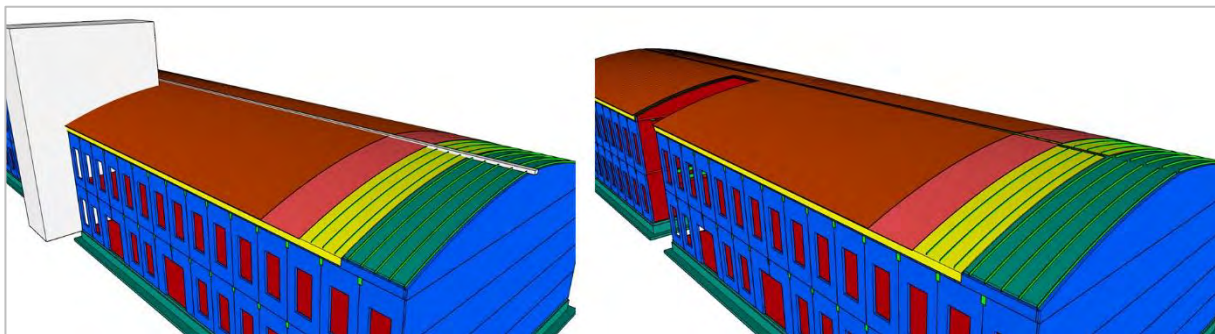


Figure III-27 - Découpage de la toiture par opérations booléennes

Les volumes blancs ci-dessus servent de base pour la soustraction, il faut maintenant revenir fermer la toiture avec la faîtière et réaliser la toiture au-dessus de l'entrée.

Une fois les éléments correctement modélisés, nous pouvons appliquer les attributs et ainsi ajouter l'information nécessaire pour notre projet comme expliqué dans le point précédent.

iii. Éléments d'organisation spatiale

Un troisième type d'élément sera présent, ce sont ceux qui vont nous servir pour l'organisation de la maquette. Pour rappel, nous suivons une logique de structure selon le format IFC (Site – Bâtiments – Étages – Composants). Ici nous avons deux bâtiments car nous considérons deux parties distinctes néanmoins rattachées l'une à l'autre.

Il faut donc créer des composants ou groupes pour venir rassembler les éléments d'un même étage puis d'un même bâtiment. Si nous réalisons une tour avec de nombreux étages identiques, il sera judicieux d'utiliser des niveaux avec des composants mais il faudra être très vigilant car un changement dans l'un affectera l'ensemble.

Pour les étages nous pouvons regrouper l'ensemble des éléments appartenant à ce niveau, y compris la structure qui le soutient, dans un même groupe/composant. **Il sera méthodiquement classé sous ifcBuildingStorey pour que l'export ultérieur puisse être optimal.** Nous pouvons également venir ajouter des informations concernant cet étage, sa hauteur par exemple ou son altitude par rapport au niveau 0 ou tout autre donnée qui nous semble utile (accès à l'extérieur, accès public ou non...).

L'avantage est également de pouvoir visualiser qu'un seul étage à la fois sans être parasité par les autres niveaux. Nous pouvons aussi filtrer les éléments que l'on veut voir et donc ne sélectionner qu'une catégorie dans un niveau choisi. Les figures ci-dessous nous montrent l'avancée de la modélisation ainsi que la sélection d'un niveau (ici le -2), puis au sein de cet étage l'affichage des menuiseries extérieures.



Figure III-28 - Maquette numérique – 2^{ème} état d'avancement



Figure III-29 - Sélection par étage et catégorie

Il en est de même pour les pièces, cependant cela est un peu plus complexe pour ces éléments. En effet, tous les éléments ne rentrent pas forcément dans un élément *pièce*. On admet très bien qu'une chaise, une table ou un mobilier de cuisine appartienne à une seule et même pièce. Il sera alors aisé de classer ces éléments dans un composant pièce. Mais ce n'est pas le cas de tous, notamment des murs, des portes, des fenêtres car ils appartiennent à deux espaces en même temps. **En réalité, la plupart des éléments ne constituent pas des éléments d'une pièce mais des frontières entre deux ou trois espaces.** Ces frontières sont verticales pour les murs et horizontales pour les planchers par exemple.

Majoritairement, la classification des pièces ne va servir que pour trois choses : les études thermiques (HVAC) avec la définition de zones regroupant des pièces, l'annotation rapide des plans et coupes et la possibilité de réaliser rapidement une liste des pièces avec les propriétés choisies pour vérifier la correspondance avec le programme. Pour aller au bout de la démarche, nous allons définir ces pièces sur un niveau pour en exploiter tout le potentiel par la suite avec en particulier une nomenclature des salles du bâtiment. Nous créons pour cela un calque pièce (ARC – PIECES). La catégorie IFC correspondante est ifcSpace (à ne pas confondre avec ifcArea qui représente les zones HVAC généralement).

Fonctions	Couleur		Code HTML
Circulations horizontales	Bleu clair		#9BC2E6
Circulations verticales	Bleu foncé		#1F4E78
Sanitaires et vestiaires	Jaune		#FFFF00
Rangements	Orange		#FFC000
Ateliers	Bordeaux		#800000
Laboratoires	Rose		#FF5050
Salles de classe	Rouge		#FF0000
Espaces communs	Vert		#548235
Techniques	Gris		#808080

Tableau III-3 - Code couleur des catégories de pièces

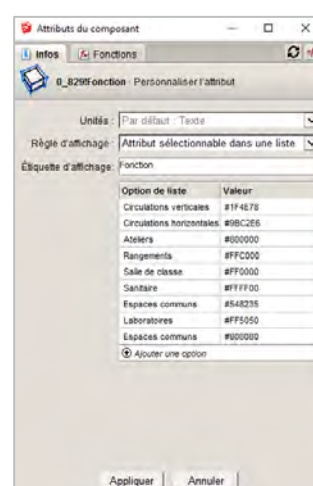


Figure III-30 - Association fonctions et couleurs

Nous allons classer ces pièces par catégories. Il est recommandé d'effectuer une mini charte graphique pour la colorisation des pièces. On peut tout simplement mettre à disposition sur le drive (ou serveur) un fichier Excel reprenant les types de catégories et les couleurs associées (voir Tableau III-3). Ensuite lors de la création de nos paramètres pour les pièces, nous pouvons attribuer à chaque catégorie une valeur de couleur (voir Figure III-30).

Nous pouvons donc ensuite afficher en 3D, comme le montre la figure ci-dessous, la position des pièces au sein du bâtiment. On relève toutefois un inconvénient à la démarche, SketchUp ne permet pas comme la plupart des logiciels BIM de créer des pièces automatiquement en fonction des frontières (tout comme les étages d'ailleurs), cette opération devient alors manuelle et chronophage. Cependant cette méthode permet dans certains cas d'être plus proche de la réalité. Les pièces générées automatiquement par la plupart des logiciels BIM ne conviennent pas à des géométries particulières, notamment au niveau des plafonds et toits. Le volume sera soit trop grand (une boîte qui englobe tout), soit trop petit (une boîte restreint dans le volume). Avec SketchUp, nous avons une liberté de définition de la pièce. On peut le voir ici avec la réalisation de pièce avec deux hauteurs sous plafond différentes.

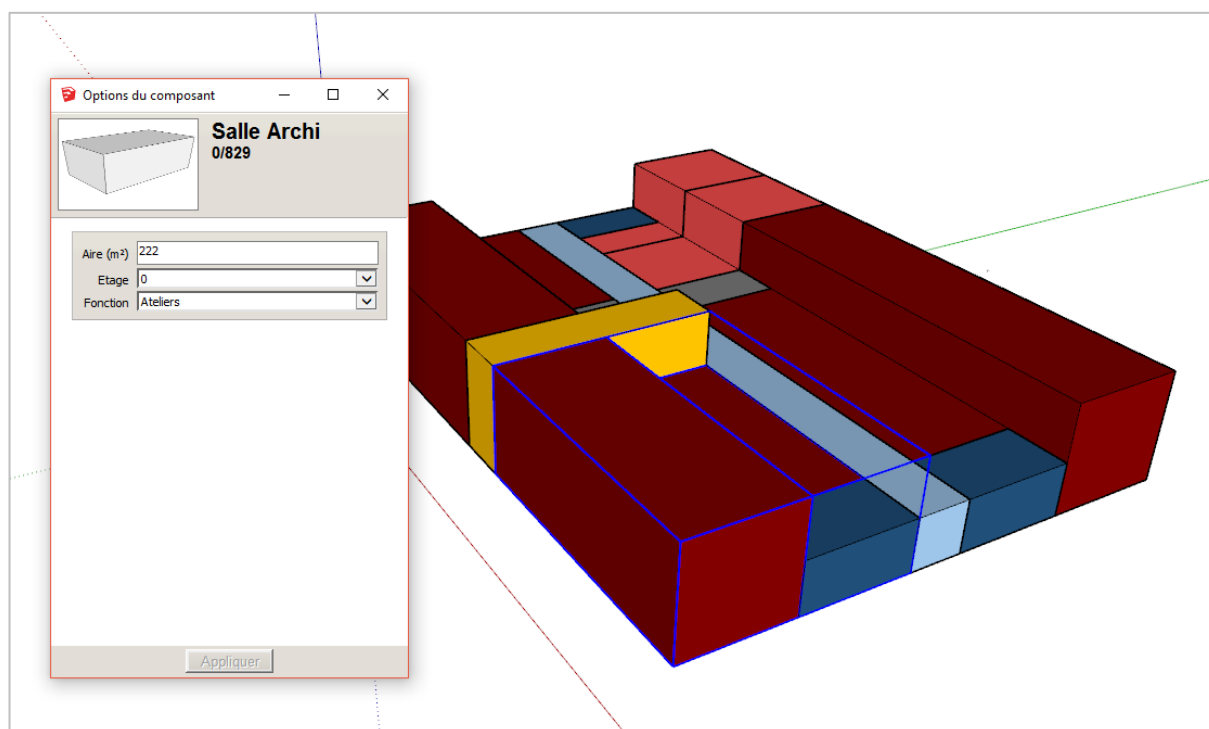


Figure III-31 - Vue 3D de la répartition des pièces au niveau 0

III.3.3. Collaboration et coordination

Reprenons nos hypothèses de départ dans lesquelles nous avons deux architectes qui modélisent le bâtiment. L'un s'occupe de l'aile Nord et l'autre de l'allée centrale (voir Figure III-4). Comment faire en sorte que l'architecte A et l'architecte B travaillent leur modélisation respective en ayant régulièrement l'avancée du travail de l'autre ? La solution réside encore dans la création de composants.

Dans ce paragraphe nous allons détourner un peu les fonctionnalités de SketchUp pour qu'elles nous permettent de travailler sur une maquette commune au sein d'un projet.

Nous avons créé pendant la préparation du fichier une maquette de base reprenant les informations essentielles (topographie, point de référence, niveaux, géolocalisation, orientation...). Cette maquette va servir de « Master Maquette » pour les acteurs du projet.

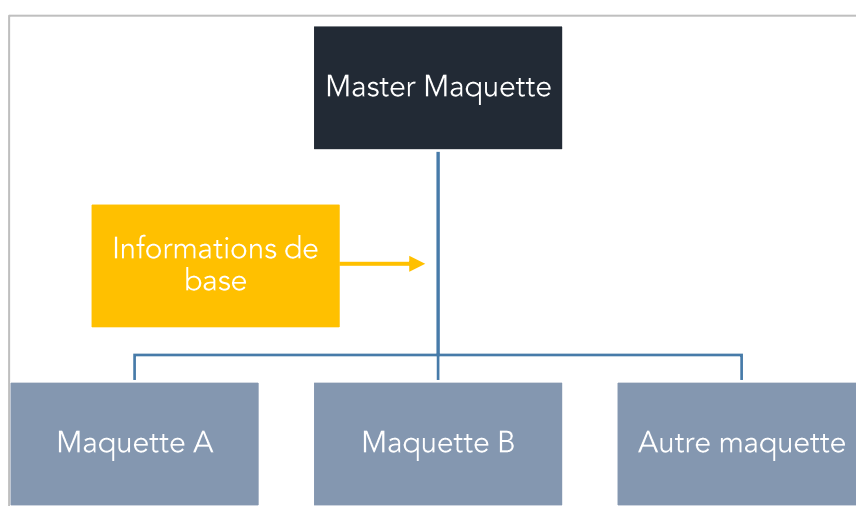


Figure III-32 - Hiérarchie Master Maquette

Nous aurons donc une maquette avec les morceaux créés par les différents acteurs mais dont personne ne travaille dessus, du moins pour le début. L'idée est qu'ensuite la maquette entière puisse servir à la diffusion et au partage de l'information. La figure ci-dessus met en évidence la logique de collaboration très simple mise en place. Nous avons donc une maquette initiale avec les informations de base, chaque collaborateur se sert de cette maquette de base pour créer la sienne. Il enregistre son travail sur un fichier distinct (la création d'une copie au départ est bien sûr obligatoire), les sous-maquettes sont créées. Le coordinateur place alors les maquettes créées sur la Master-Maquette qui évoluera en fonction des avancées des sous-maquettes.

Mais l'intérêt est également pour chacun de voir l'avancée de l'autre pour s'adapter ou se questionner au moment opportun et non lorsque la maquette est finie ou bien avancée. Pour notre application nous allons mettre en place une situation où l'architecte B (qui s'occupe de l'allée centrale) commence son travail bien après l'architecte A (aile nord).

La première chose à faire pour l'architecte B est de commencer sa maquette par la copie de la maquette de base et de venir placer la maquette en cours de l'architecte A sur la sienne. Il faut aussi venir verrouiller la maquette de l'architecte A pour que B ne puisse pas la modifier de manière fortuite.

Sur les figures suivantes, nous mettons en évidence les différentes étapes de collaboration :

- Création de la sous-maquette pour l'architecte B à partir de la maquette de base (présence des axes, topographie, point de référence...) - Figure III-33
- Insertion dans le modèle de la sous-maquette de l'architecte A (Fichier/importer) - Figure III-34
- Visualisation de la maquette A depuis le modèle de B - Figure III-35
- Création d'un plancher dans la continuité de l'existant de la maquette A - Figure III-36
- Mise à jour du modèle de A (Clic Droit/ Recharger) - Figure III-37
- Visualisation de la modification du plancher de A pour que B puisse s'adapter - Figure III-38

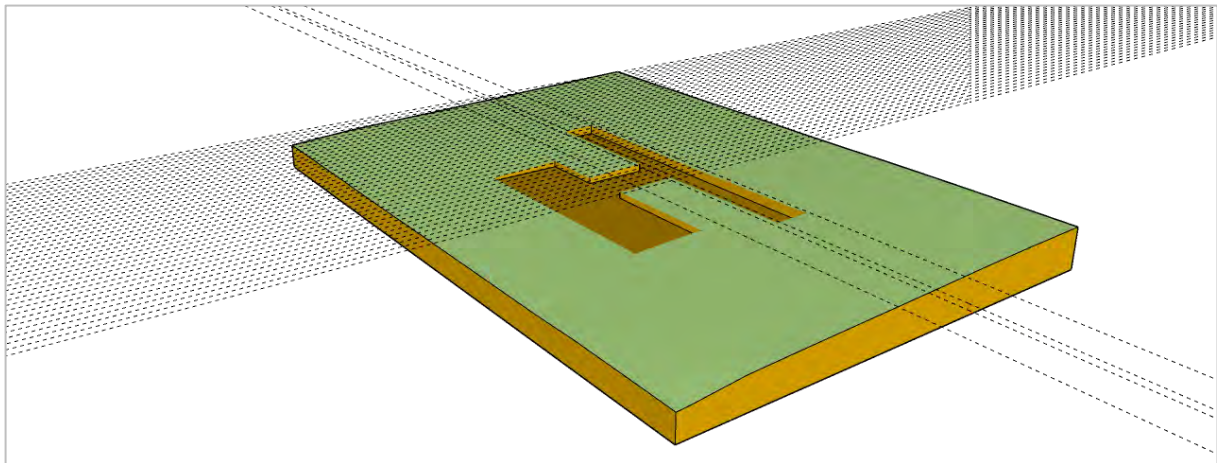


Figure III-33 - Création sous-maquette B

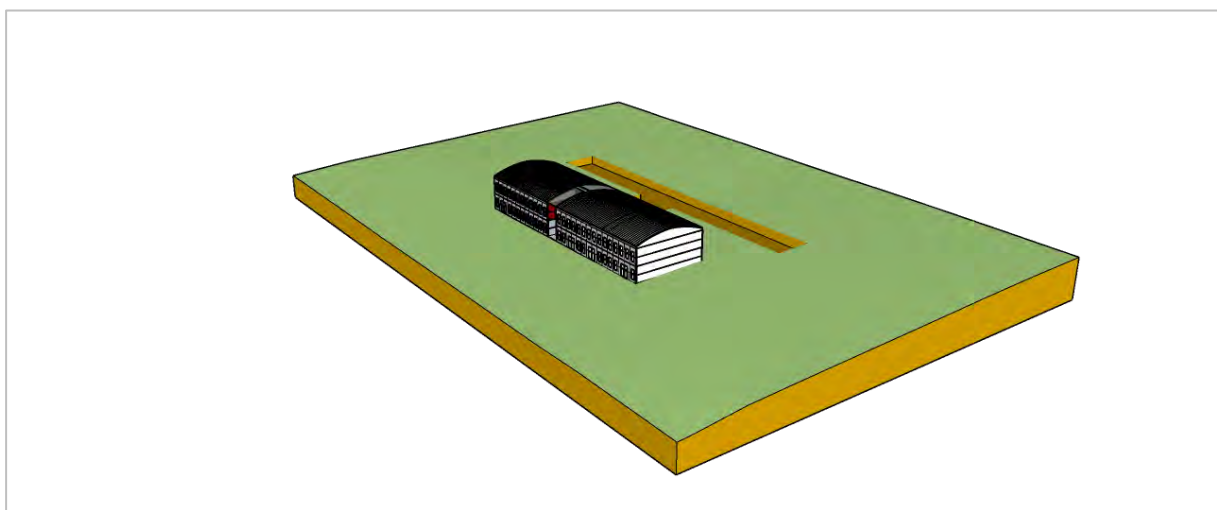


Figure III-34 - Importation de la sous-maquette A



Figure III-35 - Visualisation de la sous-maquette A

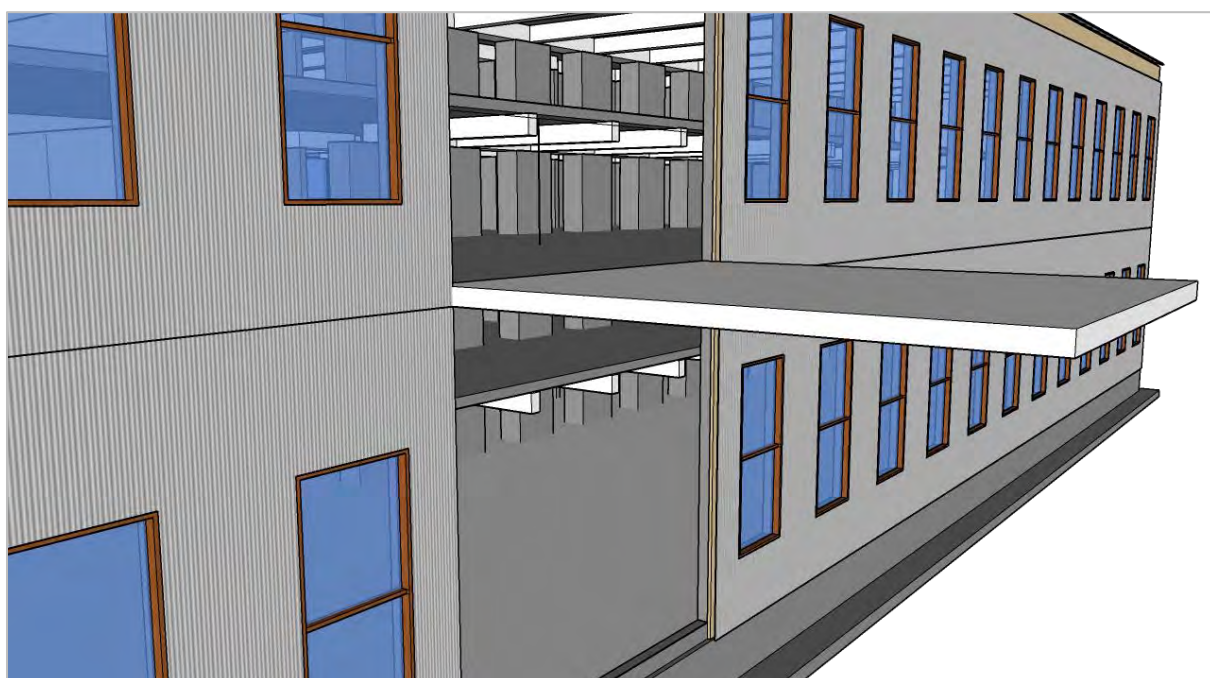


Figure III-36 - Création d'un plancher dans la continuité de l'existant

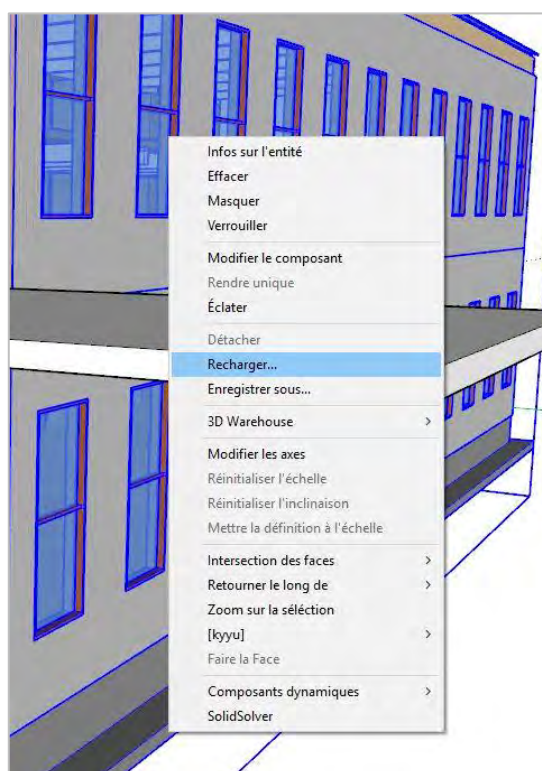


Figure III-37 - Mise à jour de la sous-maquette A

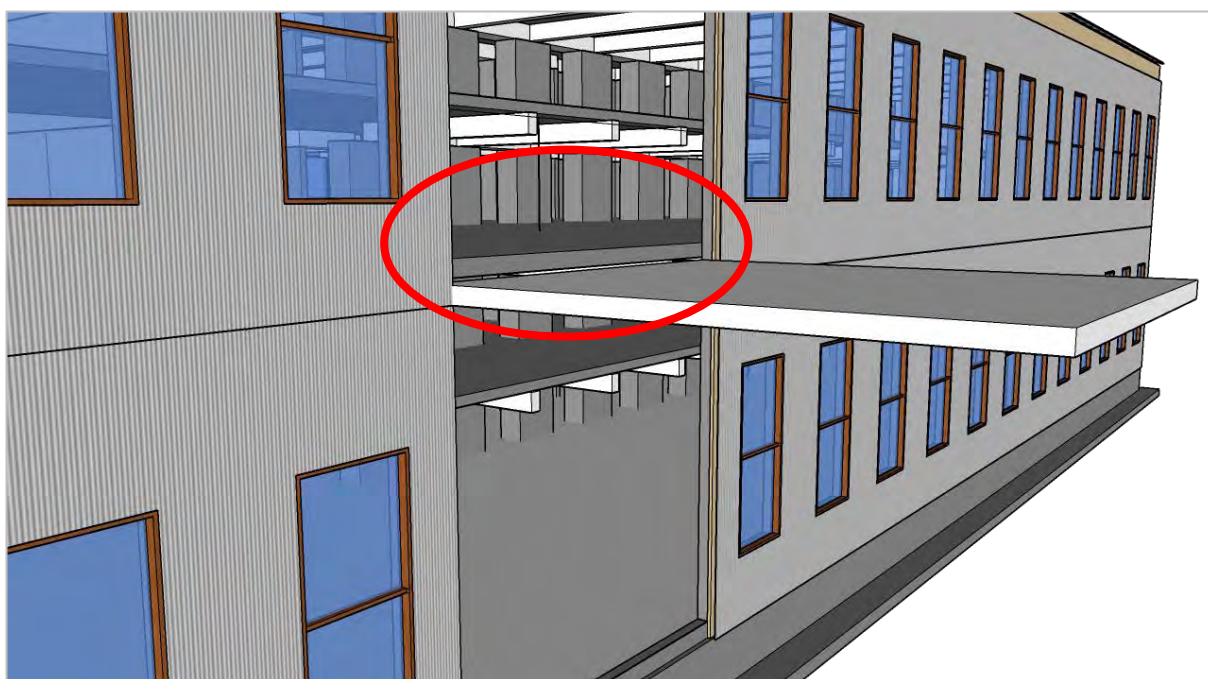


Figure III-38 - Visualisation de la modification de A

Cette démarche est également valable dans l'autre sens. A pourra mettre à jour sa maquette en fonction des modifications de B. Comme on peut le voir sur la dernière figure ci-dessus (Figure III-38), le plancher a été modifié par l'architecte A. Il est alors très facile pour le deuxième collaborateur de s'adapter au changement ou de questionner rapidement le choix de conception.

Cette coordination demande un peu de rigueur dans la mesure où chaque fichier est distinct, contrairement à d'autres logiciels qui intègrent cette collaboration au sein d'un même fichier (création de sous-projets sur Revit par exemple). Notre solution permet donc de fonctionner en cas d'absence d'accès au serveur ou réseau. Il faudra bien évidemment remettre les fichiers sur le serveur commun le plus vite possible et remettre à jour les différentes maquettes.

En allant plus loin, on peut étendre cette collaboration aux autres acteurs du projet. Rien n'empêche de partager la maquette avec les ingénieurs structure ou HVAC pour permettre une meilleure coordination des corps de métier. Le principe reste le même, chacun peut avoir accès aux avancées des autres. Dans une approche plus efficace et pour les plus gros projets, on peut également accompagner les mises à jour par un journal de modifications des éléments (soit par annotations directes sur la maquette soit par un fichier annexe type tableur Excel).

Une dernière astuce est de nommer correctement les maquettes pour être sûr de travailler sur la version la plus récente. On peut penser à donner un nom spécifique dépendant de la date (AAAA_MM_JJ_NOMPROJET.skp) ou suivant les versions de la maquette (NOMPROJET_V_XX.skp).

III.4. Extraction et partage des données

Cette partie n'est pas une étape qui se déroule après la modélisation mais en même temps. Il est important de pouvoir en permanence extraire les données voulues pour que la modélisation puisse s'adapter et répondre aux besoins du client ou du maître d'ouvrage (notamment en terme de coût).

Nous allons donc à la fois faire en sorte que la maquette puisse être exportée pour être lue ou visualisée par n'importe quel acteur du projet mais aussi extraire les données essentielles pour assurer une bonne diffusion de l'information.

Cette dernière étape sera la plus cruciale car dans toute réalisation nous allons devoir effectuer un peu de data management ou gestion de données pour s'y retrouver un peu. Malgré cette formulation provoquant des réticences, nous verrons que ce n'est pas forcément compliqué et que cette étape est simple et s'adapte aux besoins de chacun.

III.4.1. Export de la maquette

Plusieurs solutions existent pour exporter notre maquette, tout dépend de ce que l'on veut en faire par la suite. En effet, nous pouvons choisir de n'exporter que la géométrie (pour la réalisation de rendus ou d'études environnementales par exemple) ou alors la totalité des informations et de la géométrie pour une utilisation ultérieure ou pour la gestion du bâtiment.

Les éléments présents dans la maquette peuvent également être séparés. On jugera pertinent de n'extraire que les éléments structurels pour une étude de la structure ou alors uniquement les pièces et la composition des parois pour une analyse thermique.

Les possibilités sont multiples et il faut donc savoir ce que l'on veut pour extraire les bonnes informations.

i. *Export maquette numérique complète*

Comme nous l'avons défini dans notre stratégie de modélisation, nous souhaitons pouvoir exporter notre maquette dans le format natif (SketchUp, extension .skp) et dans un format ouvert pour l'échange entre logiciels avec l'IFC.

Bien évidemment comme tout logiciel, on préférera utiliser le format natif dans le cadre des échanges car la compatibilité est totale et la perte d'informations est nulle. La particularité de SketchUp est d'avoir une interopérabilité au sein du logiciel, c'est-à-dire que l'on peut exporter la maquette numérique dans des versions antérieures (jusqu'à SketchUp 8 au minimum). L'information restera la même et on pourra lire et modifier le fichier comme on le souhaite. Cela permettra de partager le modèle sans obligation pour les autres collaborateurs de mettre le logiciel à jour.

Pour permettre à plus de personnes de travailler sur la maquette il est dans notre intérêt de pouvoir échanger notre fichier via le format IFC. Les avantages sont divers, nous allons explorer deux façons de travailler avec l'IFC.

Premièrement, le format IFC permet d'importer la maquette dans la plupart des logiciels BIM. Tout n'est pas parfait et il subsiste encore des pertes d'informations (tant géométriques que des métadonnées). Cela varie en fonction du logiciel source et du logiciel cible. L'avancée technologique des logiciels étant bien plus importante que celle du standard IFC, ce dernier ne peut pas rendre compte de toutes les informations implémentées.

Il est possible d'exporter notre modèle en IFC et de l'importer dans un logiciel BIM spécialisé, nous choisisons ici Revit. Pour l'export, il suffit simplement d'aller dans le menu et d'exporter notre modèle en IFC et de valider les options de la fenêtre, comme le montre la figure ci-dessous.

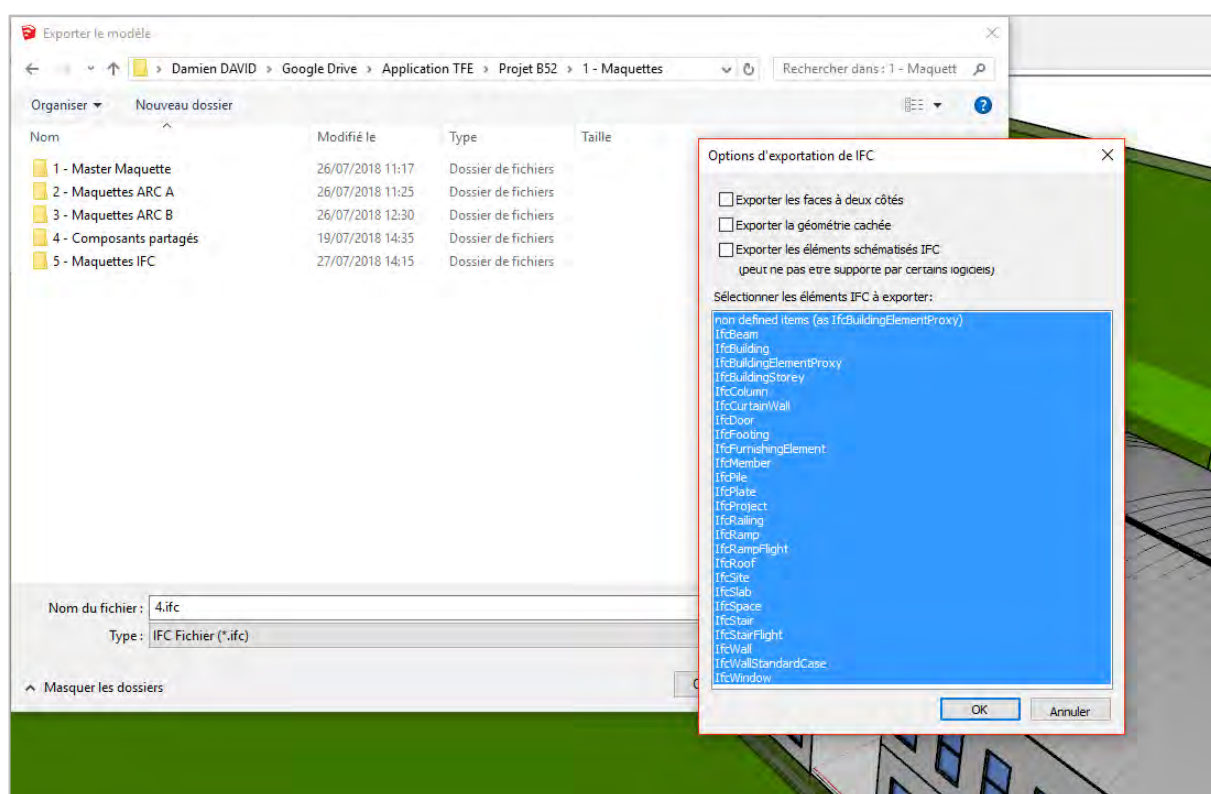


Figure III-39 - Export IFC depuis SketchUp

On peut sélectionner les familles IFC voulues pour l'export et ensuite l'ouvrir dans un autre logiciel. L'export est assez rapide et le fichier obtenu est un peu plus lourd que le fichier natif. L'ouverture sur l'autre logiciel (Revit) prend un peu de temps mais nous obtenons la maquette sans problème comme nous pouvons le constater sur la figure suivante.

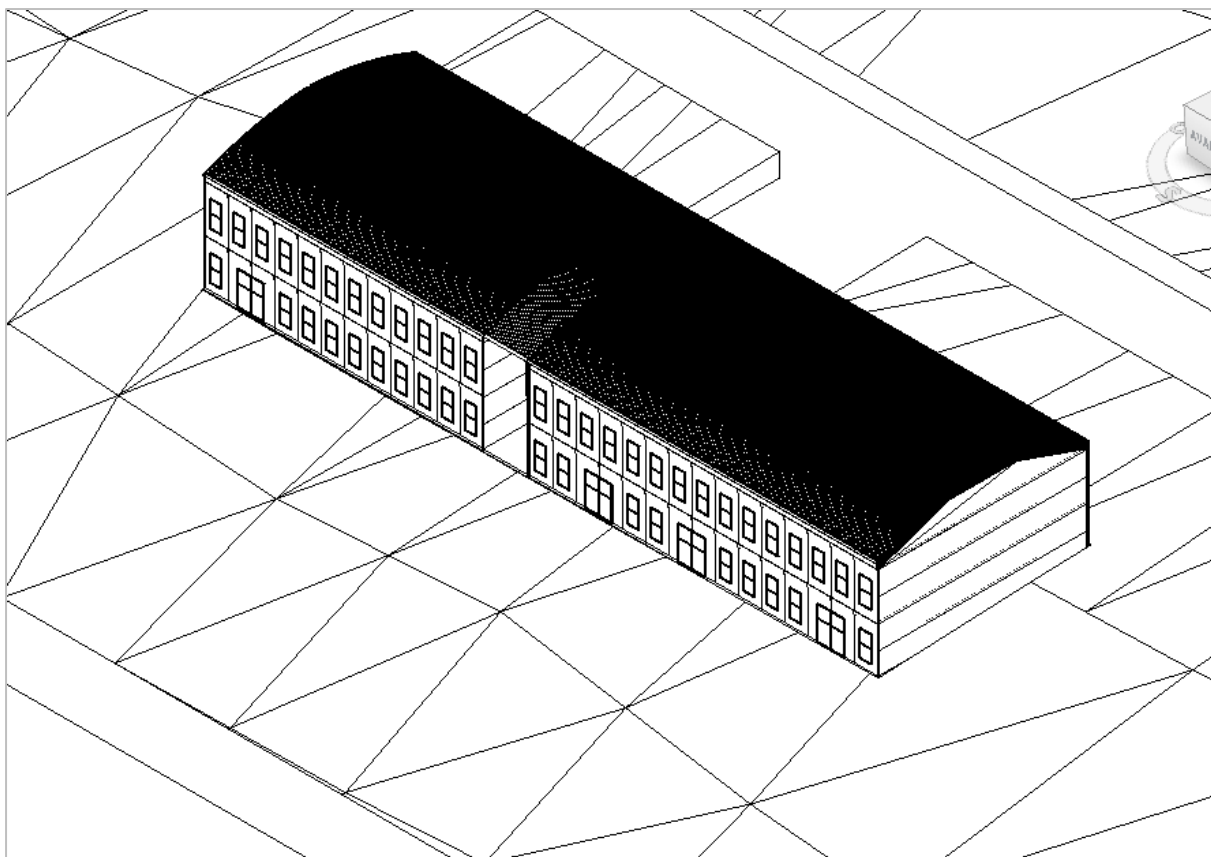


Figure III-40 - Visualisation du projet sous Revit

On retrouve les principaux éléments comme les étages sur l'arborescence du projet (qu'il faudra renommer) et aussi les composants créés par familles. L'avantage d'avoir utilisé le fichier IFC est que le logiciel (Revit) reconnaît les familles. Les fenêtres modélisées restent des fenêtres, les murs aussi et ainsi de suite. Cependant nous avons quelques pertes d'informations et les éléments ne sont plus paramétriques.

Nous pouvons par exemple afficher l'ensemble des poutres (voir Figure III-41). Le logiciel reconnaît tous les éléments ifcBeam et les affiche à l'écran. Malheureusement, les poutres restent des éléments solides non modifiables.

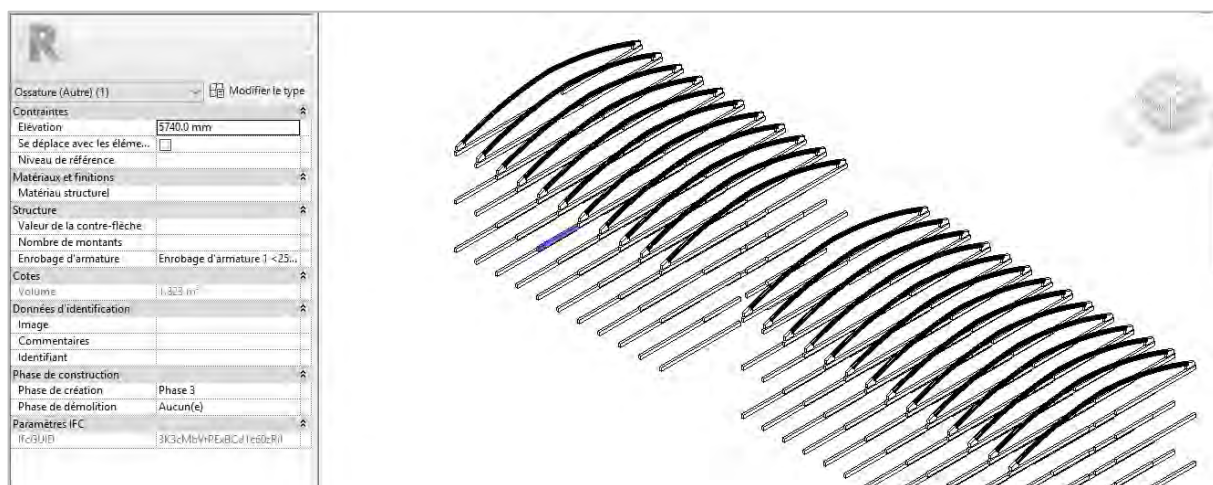


Figure III-41 - Visualisation des poutres sous Revit

Cette particularité n'est pas propre au transfert SketchUp-Revit et constitue un problème pour la quasi-totalité des échanges via IFC. Le protocole ne prend pas encore en compte la possibilité de partage des propriétés paramétriques, ce qui rend les modifications via les autres logiciels compliquées.

Le partage via IFC connaît donc quelques limites et n'est pas encore fiable pour la modification de maquette entre logiciels différents. L'intérêt de l'IFC résulte plutôt dans l'assemblage de maquettes et dans la synthèse de conception. Des petits logiciels sont plus à même de lire les fichiers IFC (sans modification possible de la géométrie) et de les assembler pour permettre une coordination plus importante entre les collaborateurs.

Nous prendrons ici le logiciel Solibri, un software capable de lire ces fichiers ouverts et de pouvoir coordonner les différentes maquettes. La version de base permet simplement de visualiser l'ensemble des maquettes ainsi que les informations associées. La version payante quant à elle, permet de vérifier suivant des règles prédéfinies la qualité des modèles et également de pouvoir tester les interactions entre les maquettes (clash detection, conformité de la structure par rapport à l'architecture...). De plus, il est possible de créer des rapports de type BCF (voir

Tableau I-2) et de les partager sur des plateformes spécialisées. L'extraction de données est également possible mais moins efficace que dans le logiciel natif en général.

Nous ouvrons donc le document IFC créé via Solibri et le résultat est beaucoup plus satisfaisant. Force est de constater que le logiciel garde entièrement l'information encodée dans SketchUp. Nous retrouvons même les paramètres (ou attributs créés). Bien sûr nous ne pouvons pas les modifier puisqu'il s'agit d'un viewer.

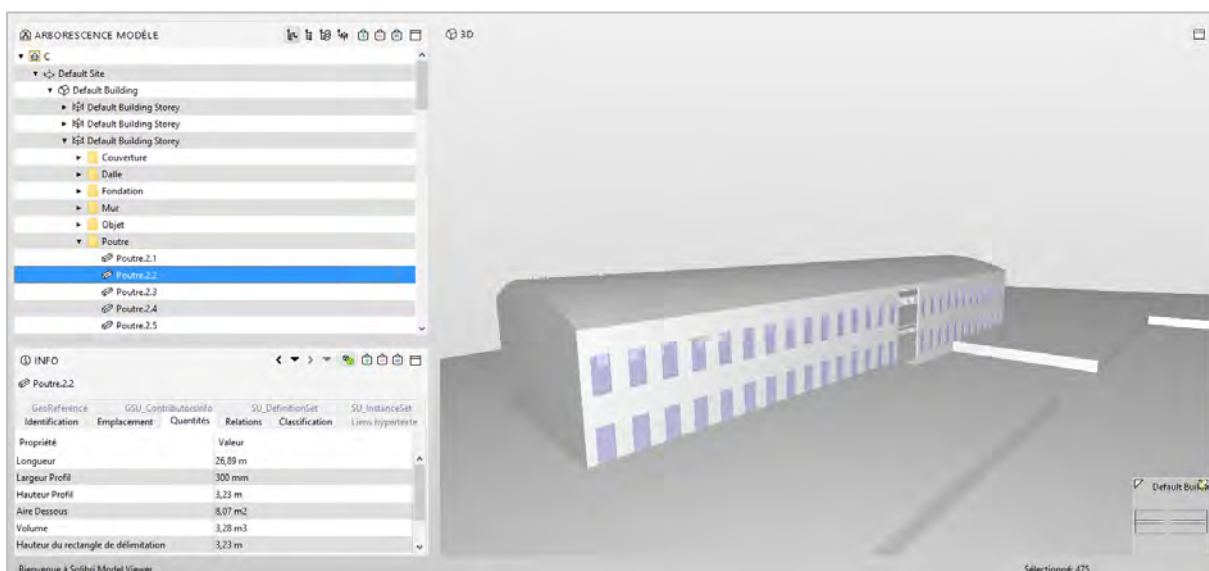


Figure III-42 - Interface du logiciel Solibri Model Viewer

On peut voir en haut à gauche de la figure (Figure III-43) l'arborescence du projet. Comme sous Revit, le logiciel reconnaît les étages mais n'arrive pas récupérer les noms, ce qui rend la compréhension du projet plus compliquée. Cependant dans chaque étage nous allons retrouver l'ensemble des catégories modélisées (poutre, dalle, murs...).

En bas à droite se trouve la fenêtre des propriétés de l'objet sélectionné. On retrouve à la fois les informations géométriques mais aussi les métadonnées (matériaux, relations avec les autres objets ...).

Cet outil sera très utile pendant la synthèse du projet pour souligner les problèmes entre les maquettes des différents collaborateurs s'ils ne travaillent pas sur le même outil.

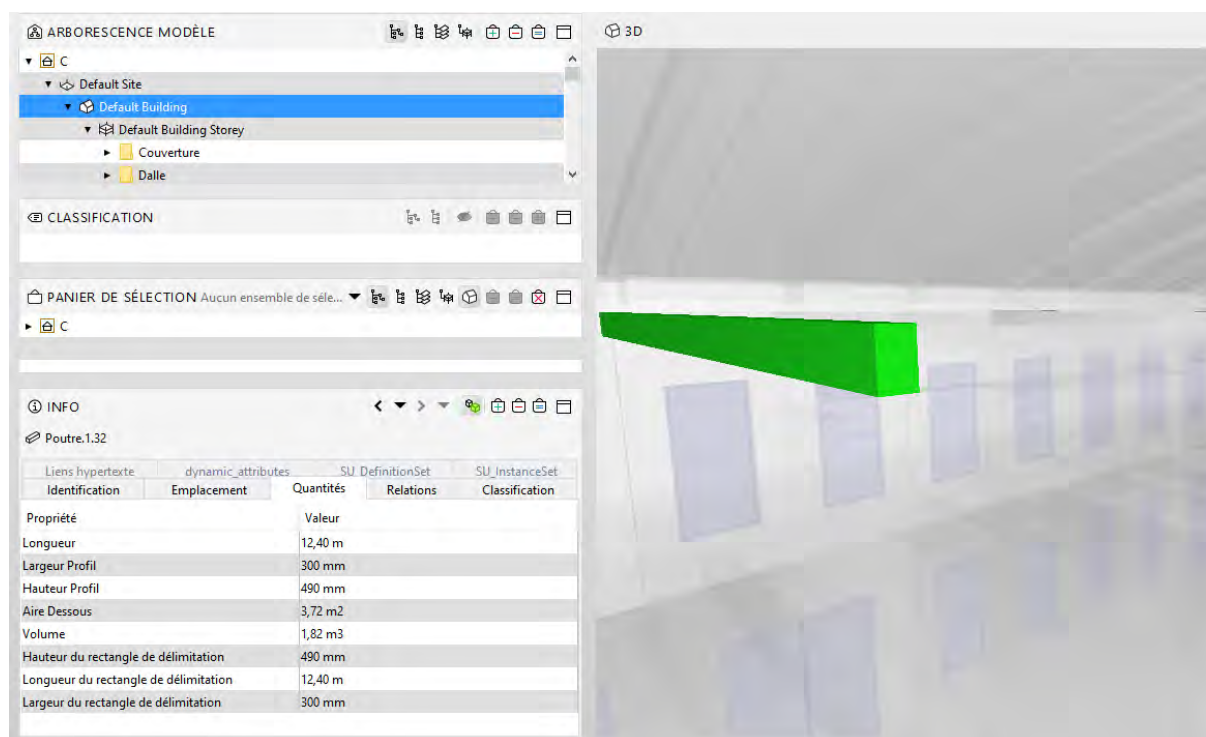


Figure III-43 - Lecture des propriétés d'une poutre sur Solibri

ii. Export ciblé

Dans certains cas il n'est pas préférable d'exporter l'entièreté d'une maquette 3D. Comme nous l'avons dit précédemment, une maquette numérique peut avoir plusieurs utilités et il est du rôle du coordinateur (souvent l'architecte dans des projets de taille raisonnable) d'établir ce dont chacun aura besoin.

Nous savons qu'il est possible d'importer au sein du projet un composant créé par quelqu'un d'autre ou soi-même. Cette fonctionnalité marche également dans l'autre sens. Suivant notre sélection et ce que l'on veut exporter, il est possible de les grouper dans un composant que l'on peut exporter facilement (Clic droit sur le composant/Enregistrer sous...). Ensuite, il devient possible de le lire en tant qu'élément seul, de le modifier et ainsi de suite. Prenons l'exemple d'un fabricant de pièces préfabriquées. On peut transmettre à celui-ci juste les éléments concernés, le transfert de la maquette entière n'est pas nécessairement obligatoire. Il recevra donc un élément 3D et pourra directement s'en servir pour lancer sa fabrication.

III.4.2. Création des pièces graphiques

Comme tout projet, il faut que la conception soit documentée par des pièces graphiques telles que des plans, coupes, élévations ou encore des détails techniques. Toutefois il faut

prendre en considération un certain changement de paradigme. L'utilisation d'une maquette numérique, au-delà de l'information embarquée, permet une meilleure compréhension de la réalisation à venir. Les échanges donnent naissance à moins d'incompréhensions et des erreurs sont évitées lorsque l'entièreté du bâtiment est modélisé.

Même si une maquette numérique contient bien plus d'informations que des pièces graphiques 2D il est néanmoins nécessaire d'en produire pour plus de facilité sur chantier et pour pouvoir communiquer avec ceux qui ne maîtriseraient pas l'outil adéquat.

Nous n'allons pas ici détailler de manière approfondie la réalisation de pièces graphiques 2D mais donner les éléments clés pour pouvoir les créer car elles ne constituent pas le centre du projet.

Nous avons pu voir que contrairement à d'autres logiciels, SketchUp est une modélisation exclusivement 3D. Alors que la plupart des logiciels restent sur une approche de dessin en plan puis en 3D, SketchUp est tout l'inverse car nous allons devoir « créer » les plans après avoir fait la 3D. Deux outils vont être primordiaux pour assurer de telles visualisations, la vue parallèle ou axonométrique (de dessus pour les plans) et l'outil coupe.

Nous allons par la suite créer des scènes (points de vue spécifiques pour SketchUp) associées à un style défini (libre au concepteur). Une étape ultérieure sera l'utilisation du logiciel Layout qui permet la mise en page et l'annotation des plans.

i. *Définition des vues*

Chacun est libre de définir sa propre convention pour la réalisation de plans (hauteur du plan de coupe, profondeur de vue...). Il faut juste qu'elle soit clairement définie. Pour l'exemple nous allons réaliser une partie de plan sur le projet. Nous pouvons faire le choix d'un plan de section à 1m et choisir une profondeur maximale pour voir la topographie et le site (il est possible avec un deuxième plan de section judicieusement choisi de limiter la profondeur de vue).

Nous commençons par la définition d'une scène (Affichage/Animation/Ajouter une scène). Il faudra être vigilant avec les scènes car il faut penser à les mettre à jour après les modifications. On retrouvera les scènes dans l'arborescence de la palette comme le montre la figure suivante. L'idée est de donner des noms clairs pour s'y retrouver. Sur chaque vue nous pouvons enregistrer les paramètres qui nous semblent nécessaires.



Figure III-44 - Vue du menu scènes de SketchUp

Ici nous retrouvons une vue en perspective (Figure III-44), nous pouvons donner également une description pour être plus précis pour nos collaborateurs. L'outil scène est un outil très puissant car il permet d'afficher sur des vues des éléments ou des calques choisis. On pourra aisément créer des vues pour des variantes d'un projet ou pour un ensoleillement différent du bâtiment.

Nous prenons donc l'outil coupe dans le sens horizontal (utilisation des flèches de navigation pour « bloquer » une orientation particulière) et nous venons placer la section à l'endroit voulu.

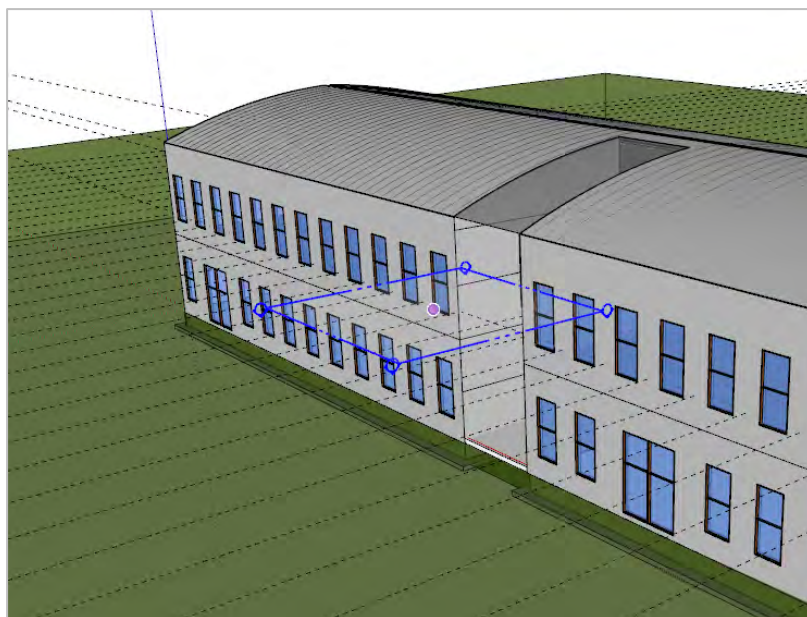


Figure III-45 - Création du plan de coupe

Une fois le plan de coupe bien défini (hauteur à ajuster avec l'outil déplacé), nous pouvons afficher ou masquer ce que nous voulons. Le style de vue peut être aussi modifié, nous choisissons par exemple une vue sans texture, en monochrome, pour assurer une meilleure visibilité.

Un gros bémol de SketchUp est le remplissage des éléments coupés. Jusqu'à la version 2017, lorsque l'on coupait dans un solide, on voyait l'intérieur, vide qui plus est. La version 2018 apporte un remplissage automatique à condition d'avoir travaillé proprement (orientation des faces et création de solides).

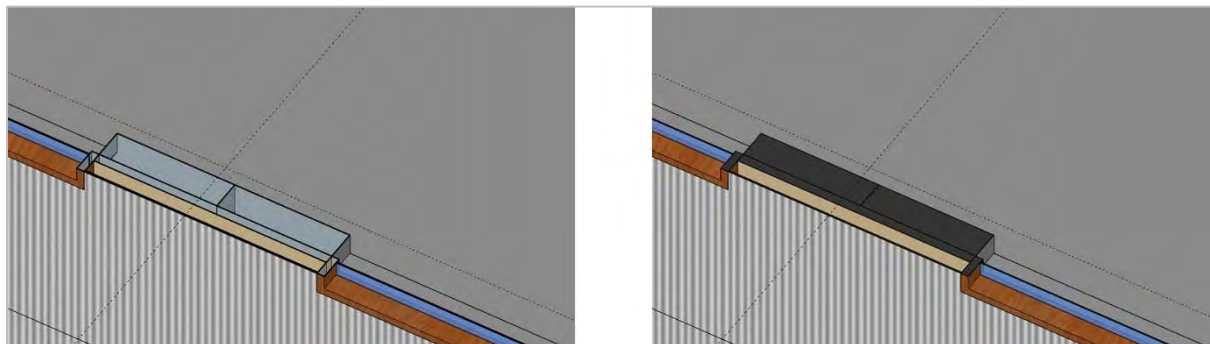


Figure III-46 - Remplissage de la coupe

Malheureusement ce remplissage est unique et on ne peut modifier la couleur que du plan de coupe en entier. Pour pouvoir réaliser des sections hachurées suivant le matériau (béton, isolant...), on peut utiliser soit un plug-in gratuit, un peu plus fastidieux mais efficace (Section Cut Face) soit un plug-in prévu à cet effet mais payant (Skalp).

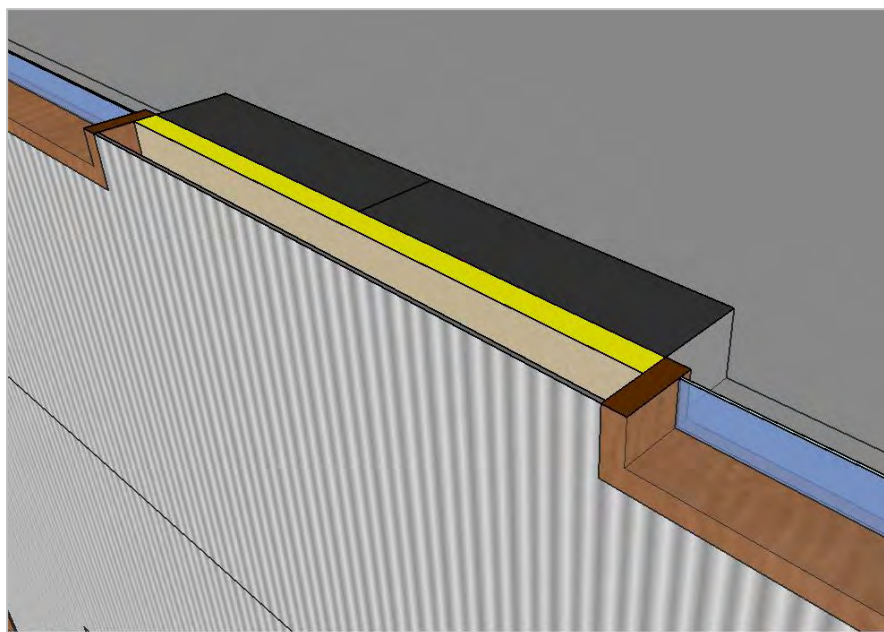


Figure III-47 - Textures du plan de coupe

ii. Création de plans sur LayOut

La scène étant correctement placée, nous pouvons passer à la mise en page sur LayOut. Pour cela, on enregistre le travail et Fichier/Envoyer dans LayOut. Ce programme n'est pas payant car il est inclus avec SketchUp Pro (ainsi que le programme Style Builder qui permet de créer des styles applicables aux maquettes).

L'interface ne change pas vraiment (palette à droite, outils en haut), on choisit un type de présentation (taille, quadrillage ou non...). On peut également venir créer des présentations avec cartouches pour pouvoir être plus efficace. L'avantage de LayOut est d'être totalement connecté avec SketchUp. Une modification du modèle se répercute sur la présentation.

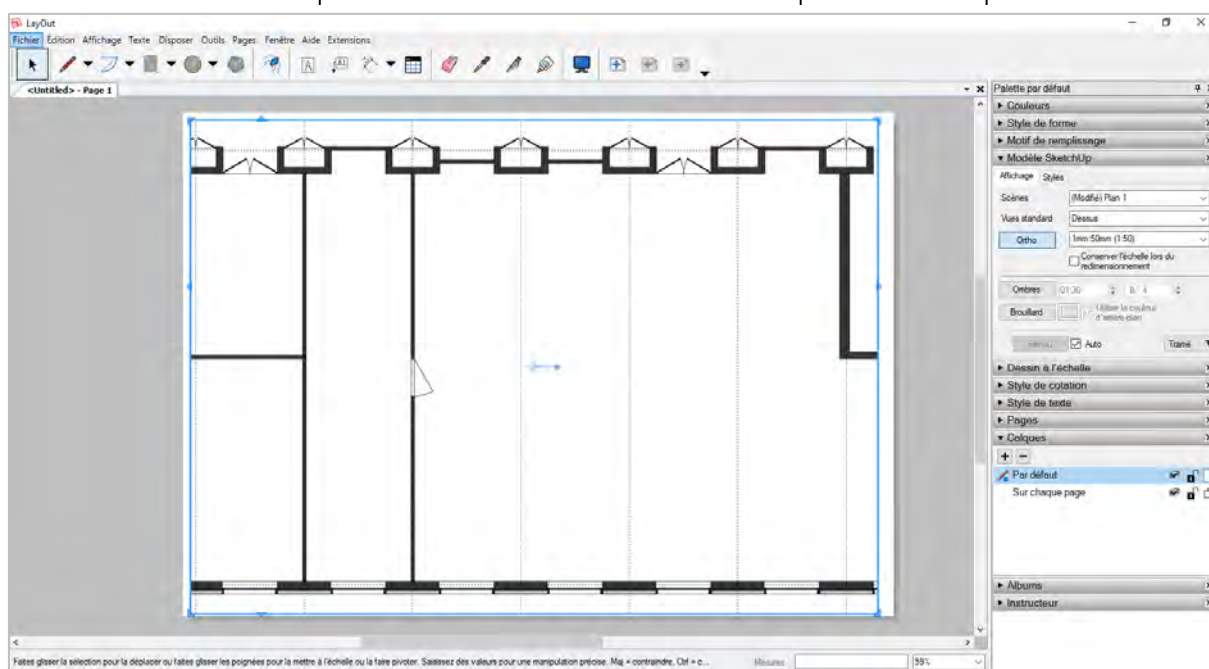


Figure III-49 - Interface de LayOut et plan vierge

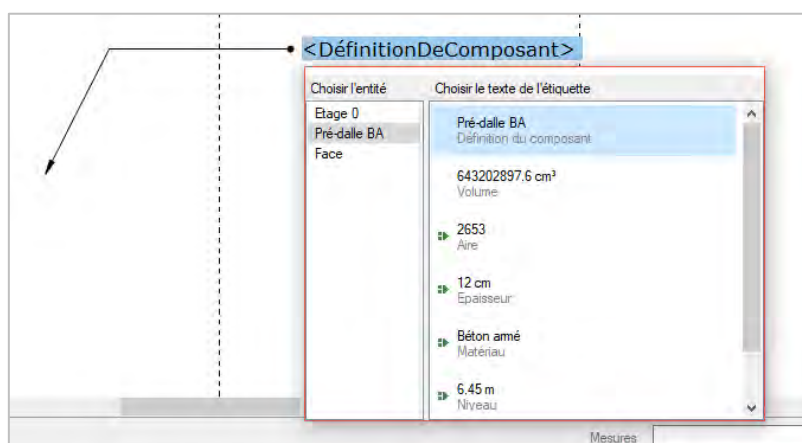


Figure III-48 - Étiquetage d'une dalle

On se servira surtout de deux outils, l'outil *cotations* et l'outil *étiquette*. Tout le travail qui a été fait en amont va être très profitable dans l'annotation des plans. En effet, tout paramètre

créé va pouvoir être récupéré sur les plans. Lorsque l'on clique sur la dalle par exemple, on va pouvoir sélectionner un ou plusieurs paramètres à afficher (nom, numéro, surface...). L'outil permet également de définir quel niveau de modélisation nous voulons (Étage, élément, trait de dessin...).

Cela va nous permettre de créer des étiquettes plus spéciales et complètes. Celles-ci s'adapteront aux éléments pointés et permettront de renseigner le plan de manière correcte. On peut voir sur la figure ci-dessous, un exemple d'étiquette pour un plancher.

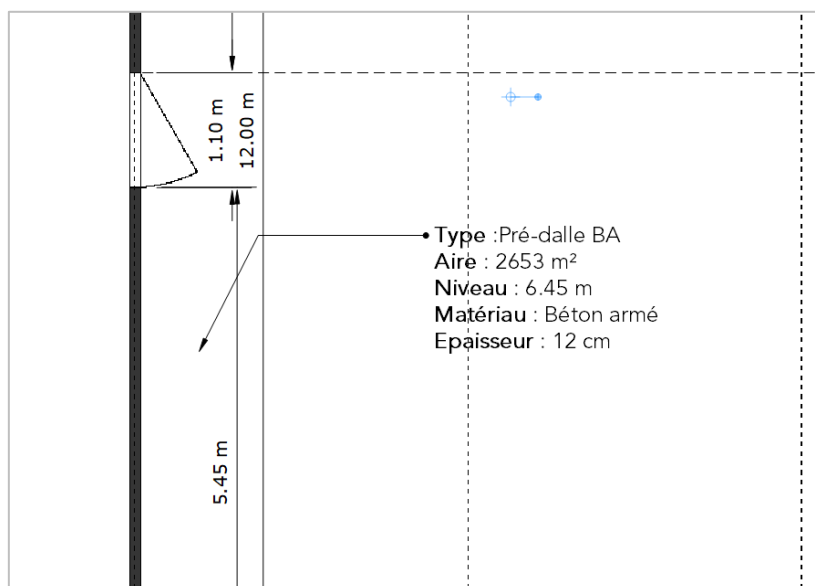


Figure III-50 - Étiquette d'un plancher

On peut faire de même avec les autres éléments et notamment pour les compositions de parois. On retrouve dans LayOut, toutes les hachures standards des matériaux pour pouvoir effectuer des détails de parois ou des détails techniques.

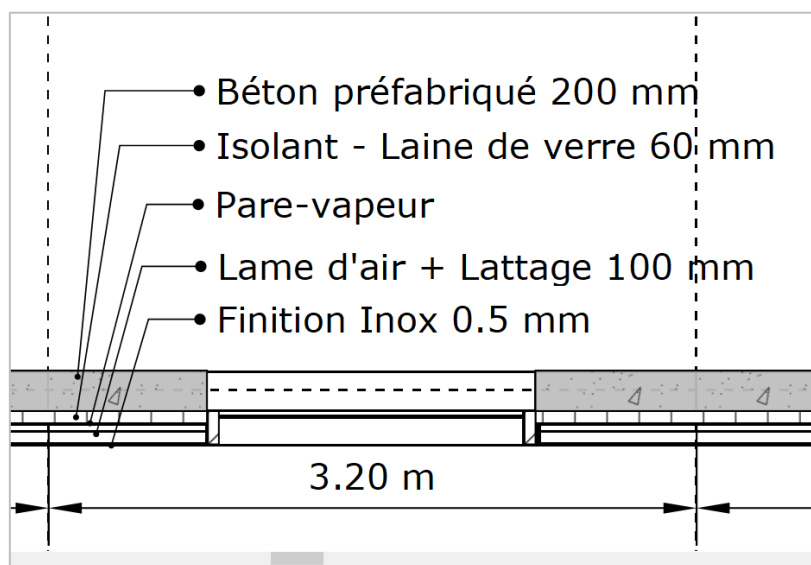


Figure III-51 - Détail de paroi sur LayOut

L'édition des plans est donc très simple à effectuer et ils peuvent être complétés par l'ajout d'éléments 2D déjà présents dans le logiciel ou que l'on importe (symboles de structure, arbres, véhicules...).

D'un côté le logiciel est performant car il nous permet de tout contrôler et donc d'adapter chaque annotation ou détail à notre envie. D'un autre côté, cette grande liberté ne permet pas d'automatiser les actions et est donc fastidieuse.

L'export des pièces graphiques peut se faire sous différents formats (pdf, images) mais également être envoyé directement à l'impression. La création de présentation avec plusieurs pages permet un export automatisé de tous les plans en même temps et évite des oublis de plans ou autres dans l'envoi des documents.

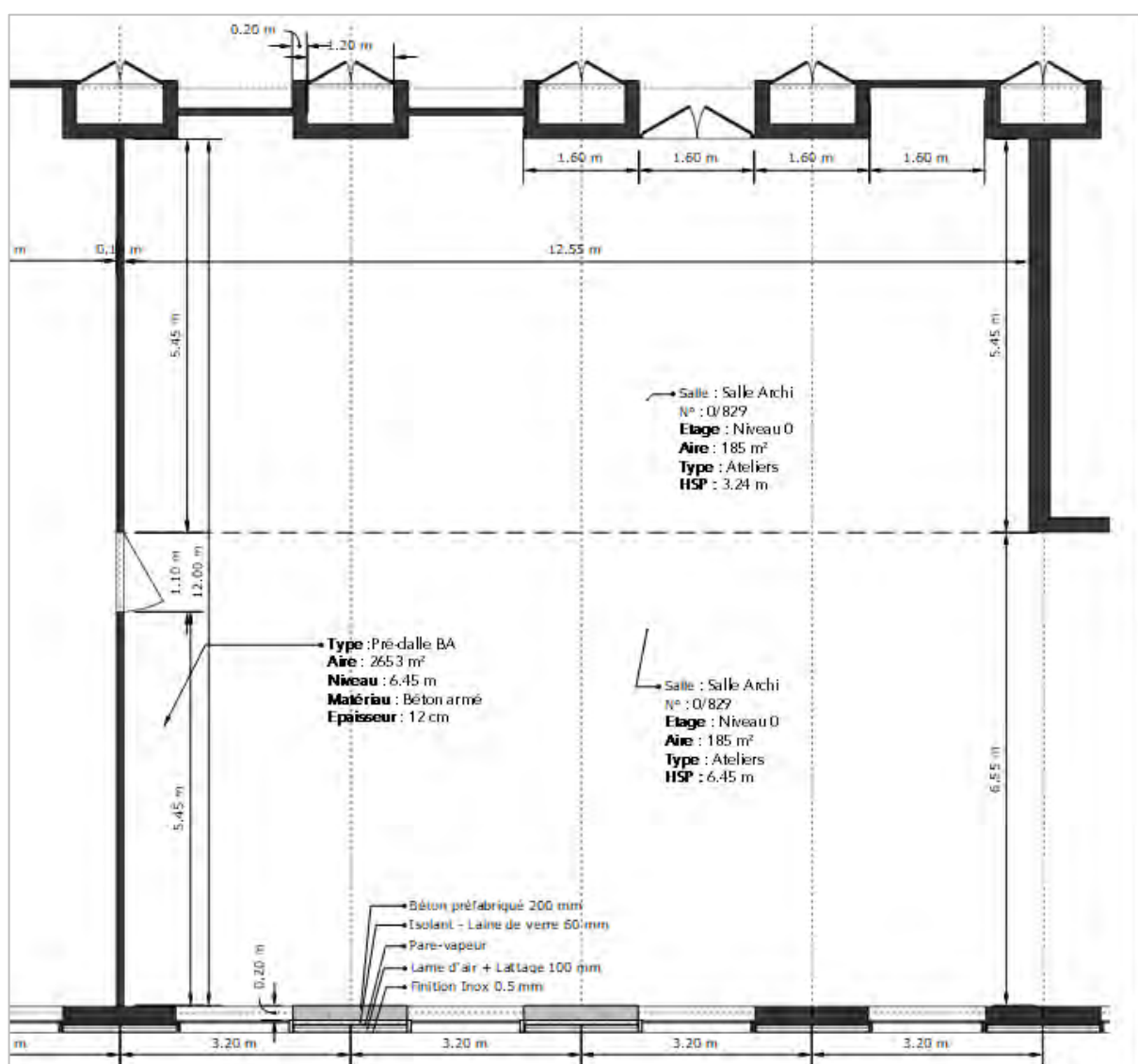


Figure III-52 - Extrait de plan coté et annoté

III.4.3. Métrés ou ITO (Information TakeOff)

Les métrés et nomenclatures sont vitaux pour la conception du bâtiment, notamment pour la gestion des coûts. Les valeurs financières sont directement paramétrables dans le logiciel (voir Tableau III-2) mais il est beaucoup plus facile de venir travailler sur un tableur Excel par la suite. Il est préférable de ne pas ajouter de paramètres variables dans SketchUp comme un coût car le changement permanent de ces paramètres peut être très lassant à encoder dans le logiciel.

Une des particularités du BIM est de pouvoir générer très facilement des métrés de notre projet. En effet, sachant que nous travaillons en 3D et que nous renseignons matériaux et autres éléments de fabrication, il est très facile de pouvoir extraire (takeoff) ces données.

Avant de se lancer dans un export massif d'éléments, il est important de définir les besoins comme nous l'avons fait lors de l'élaboration des composants. Normalement, une bonne analyse des paramètres du composant facilite celle des informations à exporter.

Il ne nous reste plus qu'à définir ce que nous voulons exporter. Généralement ces métrés vont par catégorie (quantité de murs, fenêtres...). On distinguera deux sortes de métrés, ceux qui concernent un matériau en particulier (par exemple 12 m³ de béton pour une dalle) et les nomenclatures, qui recensent les différents types d'une même catégorie (Types de fenêtres et leur quantités respectives, pièces...).

Dans notre exemple, nous allons effectuer trois extractions de données : un métré pour les éléments en béton coulés sur place, une nomenclature des pièces et des poutres préfabriquées.

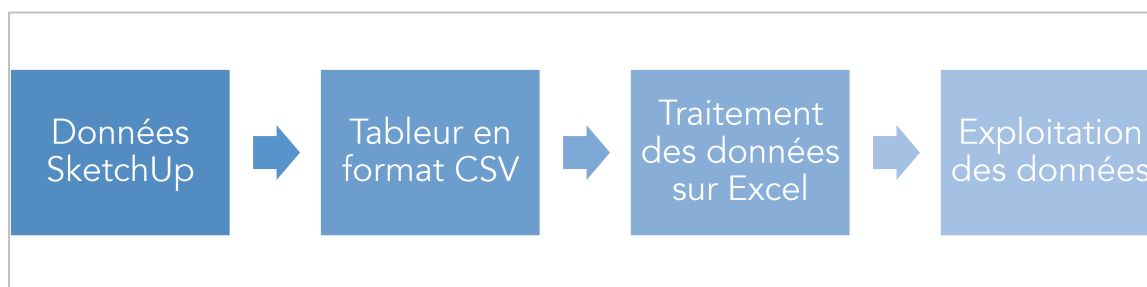


Figure III-53 - Schéma du traitement des données depuis SketchUp vers Excel

Pour les parties suivantes, une connaissance très succincte d'Excel est nécessaire car les exports depuis SketchUp sont bruts et il faudra traiter les données pour qu'elles soient réellement exploitables.

i. *Métre des éléments en béton*

Pour cette opération, nous allons considérer les éléments qui ne sont pas préfabriqués et qui seront coulés sur place. Suivant le niveau et la catégorie de l'élément, le métre peut servir à la fois à l'étude des coûts mais aussi aux commandes potentielles de béton (et armatures si on utilise un ratio pour calculer le ferrailage nécessaire).

On voit ici la nécessité d'avoir travaillé avec des solides, car le logiciel va pouvoir déterminer correctement les volumes nécessaires. Pour notre projet on considèrera que les pignons, les semelles filantes et les dalles sont en béton coulé sur place. Il s'agit ici d'un exemple simple mais très démonstratif de la démarche.

Pour ce faire, nous allons utiliser l'outil création de rapport de SketchUp, il va nous permettre de visualiser les extractions de manière rapide et de les exporter. Avant de commencer, nous allons mettre en forme une idée de tableau que nous aimerions avoir à la fin de la manipulation. Il nous faut comme information : le nom de l'élément, le matériau (ici tout est identique), l'étage concerné, le calque pour avoir la catégorie, le volume de béton, l'épaisseur de l'objet et l'aire.

Type	Étage	Nom	Matériau	Volume	Épaisseur	Aire
Murs						
	-2	MUR A	BA	X m ³	X cm	X m ²
	-2	MUR B	BA	Y m ³	Y cm	Y m ²
	1	MUR C	BA	Z m ³	Z cm	Z m ²
			Total	X+Y+Z m ³		
Planchers						
	-2	Dalle A	BA	X m ³	X cm	X m ²
	-2	Dalle B	BA	Y m ³	Y cm	Y m ²
	1	Dalle C	BA	Z m ³	Z cm	Z m ²
			Total	X+Y+Z m ³		

Tableau III-4 – Proposition de mise en forme des données des éléments coulés sur place

Les noms peuvent être identiques s'il s'agit d'un même élément. Il faut savoir que dans le logiciel, malgré l'utilisation de composants, chaque élément à une numérotation unique appelé GUID (globally unique identifier) ce qui empêche donc les erreurs possibles de doublons. On pourra également penser à inclure des sommes pour les étages ou les types afin de se rendre compte du cubage total.

Une fois le tableau défini, nous pouvons passer à la mise en place de la génération de rapport. Pour cela, nous utilisons l'outil *générer un rapport...* dans le menu déroulant *Fichier*. La fenêtre suivante (Figure III-54) s'ouvre :

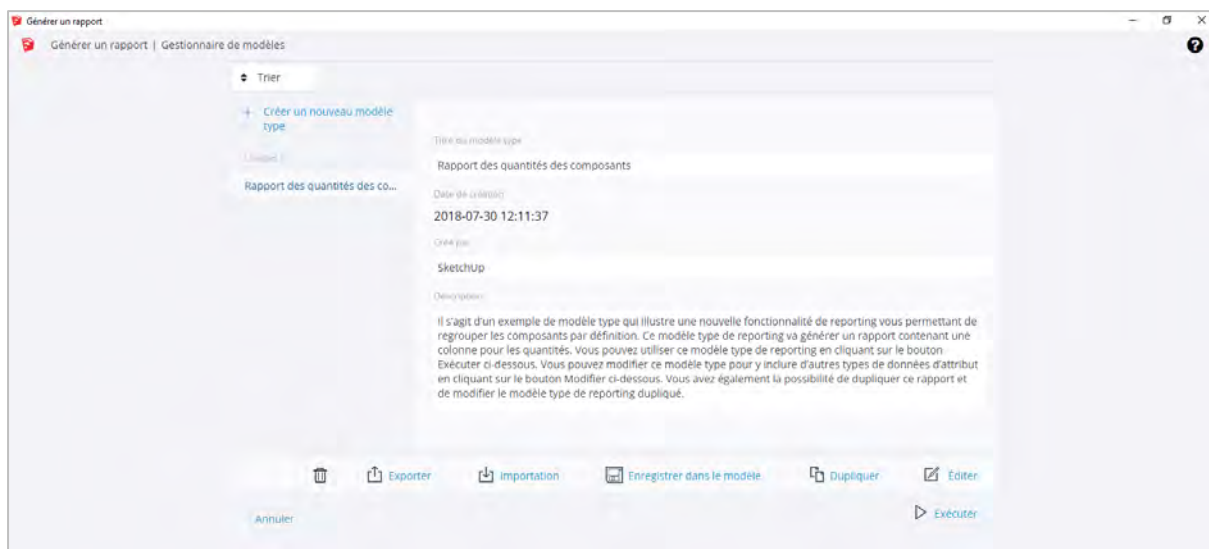


Figure III-54 - Fenêtre de génération de rapports

Par défaut, un modèle de rapport existe déjà mais n'est pas très complet car il ne prend pas en compte tous les paramètres. Nous allons donc créer un modèle pour automatiser le processus et gagner du temps en cas de modifications du projet ou également sur un autre projet. Une fois le nouveau modèle enregistré, il faut le paramétrer. La page suivante met en avant l'édition d'un modèle de rapport. On y retrouve les données à aller rechercher dans le modèle et l'ordre dans lequel on veut qu'elles apparaissent.

Générer un rapport

Générer un rapport | Gestionnaire de modèles | Éditer Rapport des quantités de béton csp

CHOISIR DES FILTRES:

Si on désire ne sélectionner qu'une partie du modèle on peut le faire ici

Sélection:

☒ Tout le modèle

☐ Sélection actuelle

Niveaux d'hérarchie des composants:

☒ Tous

Entrez une valeur (par exemple 1-3, 5)

Le niveau de hiérarchie correspond au niveau d'emboîtement de l'élément. Sur la maquette on a :

1 - Etages

2 - Eléments

Dans cette zone, on retrouve tous les paramètres que l'on peut extraire y compris ceux que nous avons créé.

FORMATER LES COLONNES:

Tout sélectionner

Attributs du modèle

- Definition Name
- Entity Description
- Entity Name
- Entity Volume
- Layer
- LenX
- LenY
- LenZ
- Level
- Material
- Owner
- Path
- Price
- Quantity
- Size

Enregistrer les modifications

SÉLECTIONNER LES UNITÉS:

Format

Décimal - centimètres

Précision

0.0cm

On peut choisir de regrouper des données suivant un attribut. Cela peut-être utile si on veut compter un nombre d'éléments identiques. Un valeur d'attribut correspondra à une ligne de tableau.

Ici apparaissent les attributs à extraire, une valeur d'attribut correspondra à une ligne dans le tableau, même si elle identique à une autre (sauf si l'attribut sert à grouper les données voir plus haut)

Exécuter le rapport

Figure III-55 - Génération de rapport

Dans notre cas nous ne nous servirons pas de l'option *groupé par* car nous n'avons pas d'élément réellement similaire au sein de chaque étage et cette option est assez compliquée à gérer, nous verrons cette fonctionnalité par la suite.

Nous choisissons donc la liste d'attributs suivante :

- Layer, que nous pouvons renommer catégories (grâce à la roue dentée à côté de l'attribut sélectionné)
- Étage pour pouvoir trier correctement les données par la suite
- Le nom de l'élément
- Le volume
- L'épaisseur
- L'aire (qui est déductible pour les éléments à profil régulier par le volume et l'épaisseur)

Le problème que l'on rencontre est qu'on ne peut filtrer suivant un attribut. On ne pourra pas par exemple filtrer uniquement les fenêtres et ne voir que ça dans le rapport. Il faudra le faire sur Excel. Cela constitue à la fois une contrainte mais aussi un atout car un rapport judicieusement élaboré peut permettre à lui seul d'extraire beaucoup de données.

Deux solutions s'offrent alors à nous. Soit exporter directement toute la table générée vers Excel, soit classer les données en cliquant sur les entêtes et ne sélectionner que celle qui nous intéressent. Le dernier procédé n'est pas vraiment efficace et demande d'être assez vigilant avec le copier-coller car le risque d'oublier une donnée est grand.

Catégorie	Etage	Nom ▲	Volume	LenX	Epaisseur	Aire
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	
ARC - MUR EXT	-3	Mur préfa ext - sup	2785986 cubic cm	20 cm	20 cm	

Figure III-56 - Extrait du rapport créé

Le fichier est exportable en format csv et une fois ouvert sur Excel il nous semble étrange comme le montre la figure ci-dessous.

	A	B	C	D	E	F	G
184	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa extrÃ©mitÃ©	"",	"675015.4 cubic cm",	"65 cm",	"",	"
185	ARC - MUR EXT,"",	Mur BA",	"18674208.4 cubic cm",	"20 cm",	"",	"",	"
186	ARC - MUR EXT,"",	Mur BA",	"18674208.4 cubic cm",	"20 cm",	"",	"",	"
187	ARC - PLANCHERS,"-1",	PrÃ©-dalle BA#1",	"345036854.8 cubic cm",	"9280 cm",	"63.5 cm",	"",	"
188	ARC - REV,"",	Finition Inox",	"248093 cubic cm",	"0.6 cm",	"",	"",	"
189	ARC - REV,"",	Finition Inox",	"248093 cubic cm",	"0.6 cm",	"",	"",	"
190	ARC - ISO,"",	Laine de verre",	"2462641.5 cubic cm",	"6 cm",	"",	"",	"
191	ARC - ISO,"",	Laine de verre",	"2462641.5 cubic cm",	"6 cm",	"",	"",	"
192	ARC - MUR EXT,"",	Mur BA",	"8232093.5 cubic cm",	"20 cm",	"",	"",	"
193	ARC - MUR EXT,"",	Mur BA",	"8232093.5 cubic cm",	"20 cm",	"",	"",	"
194	Layer0,"",	Group",	"17102.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
195	Layer0,"",	Group",	"55171.2 cubic cm",	"75 cm",	"",	"",	"
196	Layer0,"",	Group",	"55171.2 cubic cm",	"75 cm",	"",	"",	"
197	Layer0,"",	Group",	"17102.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
198	Layer0,"",	Group",	"55171.2 cubic cm",	"75 cm",	"",	"",	"
199	Layer0,"",	Group",	"55171.2 cubic cm",	"75 cm",	"",	"",	"
200	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
201	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
202	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
203	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
204	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
205	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
206	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
207	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
208	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
209	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
210	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
211	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"
212	ARC - MUR INT,"",	MUR - U prÃ©fa",	"1456011.2 cubic cm",	"160 cm",	"",	"",	"

Figure III-57 - Import brut du rapport sur SketchUp

Nous allons pouvoir automatiser quelques actions pour s'assurer d'une bonne lecture du tableau dès son ouverture. Nous allons donc créer une macro (Suite d'actions automatisées sur les logiciels Office) pour afficher ce texte brut sous forme de tableau à colonnes avec filtres. Nous remplacerons également les caractères spéciaux afin de le rendre lisible.

Une option très pratique est l'enregistreur de macros sur Excel, c'est-à-dire que nous pouvons, au lieu de coder en VBA (langage de programmation Visual Basic de Microsoft), enregistrer nos actions une fois sur un fichier pour l'appliquer ensuite de manière automatique aux autres. Il se trouve dans l'onglet *Développeur*.

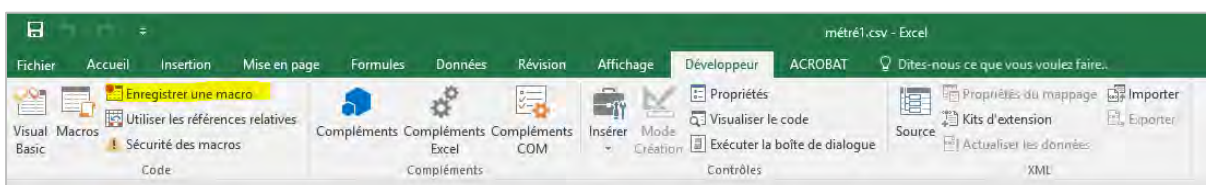


Figure III-58 - Enregistreur de macros dans Excel

Il faut déterminer l'ensemble des actions que nous avons à faire pour que le fichier soit exploitable. Nous appliquons au documents les manipulations suivantes :

- Création des colonnes à partir du format csv (séparation par virgule)
- Remplacement des caractères spéciaux (« Ã© » pour « é » par exemple)
- Changement des unités (cm³ en m³)
- Séparation des données numériques et chaînes de caractères (« 160 cm » en deux colonnes – « 160 » et « cm »)
- Mise en forme de tableau avec création de filtres
- Création de totaux pour les quantités

La mise en tableau permet également de voir rapidement suivant les catégories si un paramètre n'a pas été encodé et de venir ensuite corriger le modèle. Après les diverses manipulations le fichier est prêt. Notons que chacun est libre des modifications à apporter au tableau. Les usages varient suivant les agences et adapter cette solution aux standards de l'entreprise peut prendre un peu de temps mais est totalement réalisable.

Catégorie	Étage	Nom	Volume (m3)	Épaisseur (cm)	Aire (m²)
ARC - FOND	-3	Radier couloir BA	173.82		
		Fondation BA	249.22		
		Total Volume	423.03		
ARC - MUR EXT	2	Mur BA	6.29	20.00	31.45
		Mur BA	6.29	20.00	31.45
		Mur BA #1	15.85	20.00	79.25
		Mur BA #1	15.85	20.00	79.25
		Total Volume	44.28	Total Aire	221.40
	1	Mur BA	17.20	20.00	86.00
		Mur BA	17.20	20.00	86.00
		Mur BA	8.24	20.00	41.19
		Mur BA	8.24	20.00	41.19
		Total Volume	50.87	Total Aire	254.36
	0	Mur BA	18.67	20.00	93.37
		Mur BA	18.67	20.00	93.37
		Mur BA	8.23	20.00	41.16
		Mur BA	8.23	20.00	41.16
		Total Volume	53.81	Total Aire	269.06
	-1	Mur BA	18.67	20.00	93.37
		Mur BA	18.67	20.00	93.37

		Mur BA	7.60	20.00	38.01
		Mur BA	7.60	20.00	38.01
		Total Volume	52.55	Total Aire	262.76
	-2	Mur BA	18.67	20.00	93.37
		Mur BA	18.67	20.00	93.37
		Mur BA	8.23	20.00	41.16
		Mur BA	8.23	20.00	41.16
		Total Volume	53.81	Total Aire	269.06
		Total Volume	255.33	Total Aire	1276.65
ARC - PLANCHERS	2	Prédalle BA	643.20	25.00	2572.81
	1	Prédalle BA#1	345.04	25.00	1380.15
	0	Prédalle BA	643.20	20.00	3216.01
	-1	Prédalle BA#1	345.04	25.00	1380.15
	-2	Dalle BA extérieure	24.80	25.00	99.21
	-2	Prédalle BA	643.20	25.00	2572.81
		Total Volume	2644.49	Total Aire	11221.15

Tableau III-5 - Métré des éléments coulé sur place

On obtient le tableau ci-dessus qui reprend toutes les données de notre métré. On pourra aisément s'en servir pour calculer le coût de chaque élément en fonction du cubage de béton et de son niveau s'il y a besoin.

ii. Nomenclature des pièces

La nomenclature des pièces est plus simple à mettre en place. En gardant une logique comme celle d'avant nous pouvons regrouper les pièces par étage ou par le paramètre qui nous paraît le plus intéressant.

Pour les pièces, nous sélectionnons les éléments créés et nous créons un nouveau modèle de rapport pour notre projet. Nous récupérons les données encodées lors de l'élaboration des pièces dans le rapport ci-dessous.

Etage	Name	Entity Name	Fonction	Aire (m²)	Entity Volume
0	Magasin	0_722	#808080	20.3	60734781.3 cubic cm
0	Local Maquette	0_824	#FFC000	39.7	247209149.8 cubic cm
0	Salle Archi	0_829	#800000	222	891829145.4 cubic cm
0	Couloir 0_N_A	C0_NA	#9BC2E6	115.5	345347399.7 cubic cm
0	Atelier 2	0_729	#800000	245	1406946990.5 cubic cm
0	Atelier 2	0_729	#FF5050	80	313145827.8 cubic cm
0	Atelier1	0_823A	#800000	245	1016672121.2 cubic cm
0	Escalier N_2	ESC2	#1F4E78	20.6	61669162.5 cubic cm
0	Local Informatique	0_823B	#808080	40.6	121469562.5 cubic cm
0	ASC1	ASC1	#1F4E78	22.5	68579090.8 cubic cm
0	Escalier N	ESC1	#1F4E78	22.5	67275450 cubic cm
0	Atelier 2	0_729	#FF5050	81	380764434.6 cubic cm

Figure III-59 - Rapport de nomenclature des pièces

Nous retrouvons bien nos différents paramètres, le volume est directement déduit de la volumétrie (travail avec des solides). Un petit problème est à noter quant au paramètre *Fonction* qui renvoie le code couleur associé. Une simple correspondance avec le fichier des fonctions créé permettra de simplifier le tableau. Une fois traité (ici cela est très facile), le tableau final des pièces du niveau 0 est le suivant.

Étage	Nom	N°	Fonction	Aire (m²)	Volume (m3)
0	Magasin	0_722	Techniques	20.3	60.7
0	Local Maquette	0_824	Rangements	39.7	247.2
0	Salle Archi	0_829	Ateliers	222	891.8
0	Couloir 0_N_A	C0_NA	Circulations horizontales	115.5	345.3
0	Atelier 2	0_729	Ateliers	245	1406.9
0	Atelier 2	0_729	Laboratoires	80	313.1
0	Atelier1	0_823A	Atelier	245	1016.7
0	Escalier N_2	ESC2	Circulations verticales	20.6	61.7
0	Local Informatique	0_823B	Techniques	40.6	121.5
0	ASC1	ASC1	Circulations verticales	22.5	68.6
0	Escalier N	ESC1	Circulations verticales	22.5	67.3
0	Atelier 2	0_729	Laboratoires	81	380.8

Tableau III-6 - Nomenclature des pièces

On pourra ensuite comparer ces valeurs avec le programme pour vérifier sa conception. Les volumes des salles peuvent également être associés avec leur fonction et leur besoin de ventilation (extraction/alimentation en air) et ainsi aider à la réalisation des réseaux.

iii. Nomenclatures d'éléments préfabriqués

Un dernier type de nomenclatures peut être utile, celui concernant les commandes. Ici on prendra l'exemple des poutres préfabriquées. On va pouvoir très rapidement établir nos besoins et ainsi dresser à partir de la maquette une liste des éléments à envoyer en préfabrication.

Nous allons voir que nous pouvons regrouper les éléments par type ou même par dimensions. Cela est très pratique lorsque l'on a à faire à de grands nombres de pièces identiques. On risque de faire moins d'erreurs de « comptage » en automatisant la démarche et en extrayant les données directement depuis le modèle.

Pour notre exemple nous groupons les éléments par nom et par longueur (car ceux sont les seules variables). En effet les éléments ayant le même nom mais pas la même taille sont les poutres à section rectangulaire qui varient uniquement en longueur.

Nom	Longueur	Quantité
Arche BA Préfabriquée	2688.6 cm	25
Linteau BA préfabriqué	80 cm	244
Poutre BA - Préfabriqué 300*490mm	1240 cm	240
Poutre BA - Préfabriqué 300*490mm	565 cm	160
Support BA arche	120 cm	50

Tableau III-7 - Nomenclature des poutres préfabriquées

Ce tableau succinct obtenu en groupant correctement les paramètres peut s'étendre à tous les autres éléments de la maquette présents en nombre.

III.5. Discussions

Cette méthode présente à la fois des avantages et inconvénients. Le tout réside dans son utilisation tout public et sa capacité de s'adapter à plusieurs métiers totalement différents. Cette liberté d'utilisation permet de créer tout ce que l'on veut faire mais au prix d'un paramétrage un peu plus complexe des objets.

III.5.1. Une méthodologie adaptable et adaptée

Une méthodologie associée au BIM diffère d'une entreprise à l'autre, c'est une des raisons pour laquelle nous n'avons pas abordé le volet management de la démarche BIM. Le principe de modélisation présenté dans ce mémoire s'adapte aux besoins. L'information présente dans la maquette ne dépend que du choix du concepteur et rien de plus. Cela permet d'éviter beaucoup de soucis de transmission et surtout d'être noyé sous une information non pertinente.

La simplicité du logiciel permet de s'adapter à tout type de projets et de concevoir des maquettes BIM correctes. On entend ici au sens de correct, une modélisation contenant suffisamment de propriétés et données pour être considérée comme une maquette BIM. Concevoir un projet à l'aide de logiciels spécialisés ne garantit en rien que le modèle 3D associé soit adéquat à une démarche BIM.

Malgré cela, cette simplicité a un coût, celui de la rigueur. S'agissant d'un programme qui n'est pas destiné à l'architecture, il reste très général dans son organisation et demande que le concepteur soit plus vigilant avec sa manière de concevoir. Cela lui permet toutefois de contrôler de manière efficace ce qu'il fait. De ce fait, le travail peut parfois être perçu comme répétitif, notamment pour la création de pièces graphiques 2D. Néanmoins l'agrandissement de la base de données, via la création d'objets paramétriques de plus en plus performants et la simplicité de création des éléments, permet de gagner en productivité et en rapidité.

Il faut également garder un côté critique sur l'utilisation de ce logiciel. Si l'on veut s'en servir comme programme principal dans la démarche BIM cela peut créer une rupture brutale avec les solutions qui existaient et qui existent encore. SketchUp n'étant pas un logiciel spécialisé à la base mais plutôt un modeleur 3D, sa façon de concevoir ainsi que la méthodologie présentée ne sont pas en adéquation avec les habitudes actuelles (beaucoup de dessin 2D). Ce changement radical n'est pas aisé et on peut vite se sentir perdu dans des projets d'une ampleur conséquente.

Même s'il est facile à prendre en main, le logiciel ne rend pas compte de toutes les fonctions que d'autres pourraient fournir et nous oblige à sortir de l'interface pour effectuer d'autres actions, comme la gestion des données. Le logiciel ne permet pas de traiter les données en interne (ou très peu) et cela nous oblige à « casser » la boucle BIM partiellement. Il faut chaque fois venir extraire les données puis les traiter dans un autre logiciel (type Excel) pour qu'elles soient exploitables. Bien que cela puissent être automatisé (macros), les manipulations ne restent pas sans risque et sont fastidieuses.

III.5.2. Pour aller plus loin

Nous n'avons ici exploré qu'une petite partie du processus de conception. Il va de soi que la méthodologie présentée ici est également valable et applicable aux autres phases d'un projet.

Pour la phase esquisse, le logiciel SketchUp est fortement utilisé par les agences d'architecture. La rapidité de concevoir la 3D d'un bâtiment est un atout important dans réalisation de rendus ou même d'analyses primaires (environnementales souvent). Le tout est d'adapter au fur et à mesure le niveau de développement de la maquette pour qu'elle corresponde aux attentes des phases.

La possibilité d'export IFC vers des plateformes collaboratives joue un rôle très important dans les phases ultérieures. Une modification sur la maquette étant bien plus économique qu'une modification sur chantier, la méthodologie présentée permet d'effectuer très vite des changements que chacun pourra visualiser. Nous pensons bien évidemment aux phases précédant le chantier mais également pendant celui-ci où les aléas de la construction pourront être mis à jour. Le but étant d'obtenir à la fin de la réalisation une maquette numérique rendant compte de l'édifice construit dans le détail.

En continuant le raisonnement, on peut extrapoler la méthodologie à la maintenance des bâtiments. Le logiciel étant très bon marché voire gratuit dans sa version de base, il est très facile pour les gestionnaires (publics ou privés) de garder un contrôle sur le renseignement de la maquette et ainsi assurer sa pérennité.



Figure III-60 - Exemple de conception paramétrique (1)

Nous n'avons pas exploré dans ce mémoire d'autres possibilités de la conception via SketchUp, car cela n'était pas forcément pertinent avec la démarche proposée. Le logiciel étant très universel, nous pouvons importer et exporter dans la plupart des formats 3D (ouverts ou non). Cette particularité fait que l'on peut l'utiliser dans la plupart des maillons de la chaîne de conception d'un élément. On peut tout à fait venir créer des formes plus complexes à partir d'autres logiciels et les importer dans notre modélisation pour leur donner de l'information et une réalité constructive. Pour ce point, nous pouvons prendre l'exemple le plus parlant qui est la conception architecturale paramétrique. Bien qu'il existe des plug-ins proposant ce type de création (VIZ par exemple), Grasshopper associé à Rhino reste l'outil préférentiel dans ce genre de modélisation. Pour rappel, nous avons parlé précédemment de composants paramétriques, ici il s'agit d'une conception à plus grande échelle, où à partir de formes de base nous établissons un algorithme dépendant de paramètres qui donne naissance à des formes complexes ou répondant à une logique particulière.

La figure ci-dessus (Figure III-60) montre deux exemples de conception paramétrique. Le premier est la création des panneaux latéraux en bois régis par un ensemble de valeurs aléatoires (emplacement des nœuds et leur éloignement par rapport au mur). L'avantage est de pouvoir générer un grand nombre de solutions en ne faisant varier que quelques paramètres. La deuxième est la réalisation des abat-sons dont l'orientation est calculée pour réfléchir les ondes de manière optimale comme le montre la figure avec un lancer de rayons.

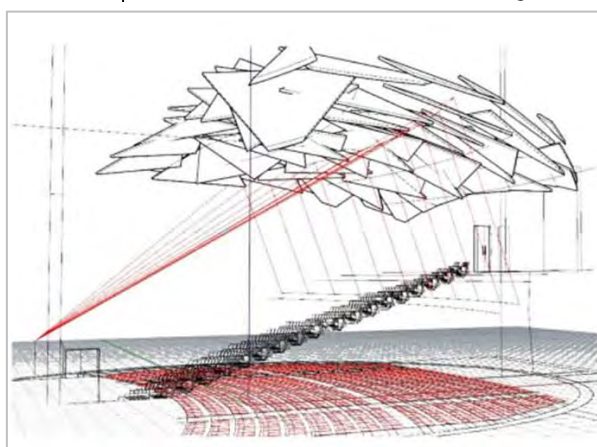


Figure III-61 - Exemple de conception paramétrique (2)

Cet exemple met en lumière le choix adapté de modélisation et du logiciel associé. Il aurait été très fastidieux de dessiner un par un les panneaux latéraux ou d'adapter l'orientation des abat-sons de manière individuelle. L'import dans SketchUp a permis dans ce cas-ci de lier notre modèle avec une conception paramétrique. L'export depuis Rhino étant au format SketchUp, il est très facile comme nous l'avons vu précédemment de mettre à jour le composant au sein de notre maquette en cas de modification.

SketchUp permet également l'export vers de nombreux logiciels de rendus. Selon le choix du concepteur ou du graphiste, celui-ci pourra travailler avec son outil préférentiel directement à partir de la maquette numérique. La figure (Figure III-60) représente un rendu effectué à

partir d'une maquette SketchUp grâce au logiciel Artlantis. À noter, que la plupart de ces logiciels présentent des fonctions permettant d'associer les rendus au fichier de base et ainsi assurer la modification de ceux-ci en cas de mise à jour de la maquette.

Il s'agit ici des exemples les plus pertinents, du moins les plus utilisés, et comme on peut le voir ils peuvent s'intégrer de manière très facile dans notre méthodologie.

III.5.3. Une solution d'avenir ?

Nous établissons ici des conjectures dépendant notamment de la tendance au développement du BIM et des solutions associées. L'évolution de ce milieu étant très importante, il est assez difficile d'envisager de manière précise la situation à moyen et long terme.

Premièrement le modèle économique de SketchUp, au-delà de son faible prix, est encore un système d'achat de licence à vie contrairement à ses concurrents dans le secteur. Cette position est d'autant plus assumée qu'il est possible de travailler avec des versions antérieures de la même manière et d'effectuer les mises à jour (quand on le souhaite) à bas coût. Ce placement sur le marché est assez unique et amène à penser qu'il perdurera dans le domaine de la conception 3D tout public. La logique de la méthodologie sera néanmoins adaptable en cas de disparition ou de l'évolution du logiciel. En effet, la démarche proposée est avant tout un guide de conception en général et l'universalité ainsi que la simplicité du logiciel adopté laissent imaginer que la solution énoncée puisse s'adapter à un autre logiciel du même type.

L'expertise de tels logiciels est liée aux formations des concepteurs mais surtout aux supports disponibles. Dans cette optique, SketchUp présente l'avantage d'admettre la plus grande communauté internet du secteur. Cette union de personnes dédiée au développement du produit et à l'aide des utilisateurs permet d'assurer un support et la création d'outils efficaces. Ces outils, souvent sous forme de plug-ins (ou extensions) enrichissent en permanence le logiciel et font en sorte de le spécialiser dans un secteur ou un autre. On peut imaginer que les fonctionnalités vont alors évoluer et accroître de plus en plus l'intérêt et la productivité du programme.

Enfin, si l'on se place dans une vision plus pessimiste mais néanmoins plausible où le BIM n'arriverait pas à s'imposer rapidement. Cette solution apparaît comme pragmatique pour les années à venir dans la mesure où elle demande un investissement humain et financier moins important que les autres présentes sur le marché.

CONCLUSION

La démarche BIM dans la réalisation de projets est une méthode qui tend à s'imposer de manière relativement rapide dans le marché actuel. Toutefois, comme toute nouvelle façon de travailler, elle s'accompagne de bénéfices notables pour l'utilisateur mais constitue un véritable challenge pour les agences d'architecture. Les plus petites structures ne disposant pas de moyens importants, et pourtant représentant la grande majorité des entités, sont les premières concernées par ce changement de conception. Il convient donc de trouver le moyen pour ces dernières de s'adapter rapidement, sans quoi il deviendra plus difficile, si la tendance se confirme, d'obtenir des marchés notamment publics.

Les offres logicielles présentes actuellement permettent de répondre à cette évolution mais constituent un investissement très lourd pour les structures qui n'en ont pas forcément les besoins. D'autres logiciels non spécialisés mais beaucoup plus abordables existent également et peuvent présenter une solution alternative dans la conception de maquette numérique BIM. C'est le cas de SketchUp, un logiciel tout public, qui se révèle être un modèleur 3D ultra polyvalent et dont il est possible d'utiliser dans le cadre d'une démarche BIM.

Le logiciel étant très libre dans sa façon de concevoir, il n'est pas aisé de s'y retrouver pour pouvoir créer une maquette BIM de bonne qualité et respectant les standards actuels.

La méthodologie présentée dans ce mémoire est avant tout une aide à la compréhension des attentes dans l'élaboration d'un modèle 3D BIM. Elle a pour objectif de créer une alternative viable aux autres solutions présentes sans pour autant imiter leurs comportements. Car à chaque logiciel s'associe une façon de concevoir et SketchUp se différencie fortement des autres programmes par son approche exclusivement en trois dimensions.

Cette méthode permet de s'inscrire correctement dans une démarche BIM dans la mesure où elle présente de manière succincte les différents besoins, et ses solutions, de modélisation (même collaborative) et d'extraction des données de la maquette. Cependant comme tout compromis il y a des désagréments. Nous avons réalisé de fortes économies sur le coût logiciel, mais il faut compenser cela par une modélisation plus manuelle et moins adaptée à l'architecture. La réalisation de certaines étapes peut paraître plus fastidieuse mais cette liberté de conception offerte par le logiciel permet également de s'affranchir des limites imposées par les logiciels traditionnels.

Enfin l'extraction des données est assez intuitive mais demande un peu plus de travail, qui peut être automatisé, dans la mesure où les exports sont bruts et non adaptés à des solutions architecturales.

Cette solution est bien sûr à adapter, comme toute solution, en fonction de l'évolution des standards BIM et de leurs applications. La méthodologie utilisée est quant à elle centrée sur

le logiciel SketchUp mais la logique est applicable à d'autres logiciels qui seraient similaires car il s'agit avant tout d'un guide à la conception.

On peut se demander maintenant si le logiciel présenté ne permettrait pas d'aller encore plus loin dans le processus BIM et de continuer cette méthodologie sur les autres étapes de la conception en proposant des outils intégrés pour la gestion de chantier, la vérification de maquettes ou encore la maintenance du bâtiment. La polyvalence de SketchUp et sa communauté très active sur internet nous ont permis dans le cadre de ce mémoire de prolonger l'expérience en développant (programmation) des ébauches de programmes internes pouvant répondre en partie à ces interrogations. Il va de soi que l'on sort d'une méthodologie tout public, mais cela démontre une fois de plus les possibilités actuelles et futures de ce logiciel adaptées aux petites structures d'architecture.

TABLES DES RÉFÉRENCES

Bibliographie

- Agence Qualité Construction. (2016). *Du bon usage du BIM : 12 enseignements à connaître*.
- Ahmed, S. M., Emam, H. H., & Farrell, P. (2014). Barriers to BIM/4D Implementation in Qatar. *Conference on Smart, Sustainable and Healthy Cities*, (p. 15). doi: 10.13140/RG.2.1.4990.4164
- Appéré, F. (2015). *Histoire de l'apparition du BIM*. Consulté le Juin 2018, sur LinkedIn: <https://fr.linkedin.com/pulse/histoire-de-lapparition-du-bim-fran%C3%A7ois-app%C3%A9r%C3%A9>
- Batiactu. (2017). *Le BIM dans le secteur du BTP*. Paris: PTNB - Ministère du logement.
- Boutemadja, A. (2017). Une approche théoriques des notions de base et avancées du BIM. 1, 4-14. Liège.
- BuildingSMART. (2018). *Open Standards - the basics*. Consulté le Juin 2018, sur BuildingSMART: <https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/open-standards/>
- Dastbaz, M., Gorse, C., & Moncaster, A. (2017). *Building Information Modelling, Building Performance, Design and Smart Construction*. Cham, Switzerland: Springer.
- Eastman, C. M. (1975). The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. *AIA Journal*(63), 46-50.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. John Wiley & Sons.
- Fédération Française du Bâtiment. (2016). *Le BIM est-il obligatoire en France ?* Consulté le Juin 2018, sur Mon itinéraire BIM: <http://www.ffbim.fr/le-bim-est-il-obligatoire-en-france>
- Holzer, D. (2016). *The BIM Manager's Handbook*. John Wiley & Sons Ltd.
- Holzer, D. (2016). *The BIM manager's handbook*. John Wiley & Sons Ltd.
- Laakso, M., & Kiviniemi, A. (2012). The IFC standard - a review of history, development and standardization. (T. Ž., Éd.) *Journal of Information Technology in Construction*, 3-24.
- Le Moniteur. (2014). BIM / Maquette Numérique : Contenu et niveaux de développement. (G. M. SAS, Éd.) *Le Moniteur*(5673), pp. 6-41.

- McGraw Hill Construction. (2014). *The business value of BIM for construction in major global market*. McGraw Hill .
- McGraw-Hill Construction. (2010). *La valeur commerciale du BIM en Europe*. McGraw-Hill.
- McGraw-Hill Construction. (2012). *The Business Value of BIM in North America*. McGraw-Hill.
- Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., & Ustinovichius, L. (2013). The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation. *Modern Building Materials, Structures and Techniques* (pp. 767-774). Elsevier.
- Miller, D. (2012). *BIM from the point of view of a small practice*. Consulté le avril 2018, 10, sur NBS: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-from-the-point-of-view-of-a-small-practice>
- NBS. (2017). *National BIM Report 2017*. RIBA Enterprises Ltd.
- Ordre des Architectes (FR). (2014). *Chiffres et cartes de la profession d'architecte*. Paris.
- Ordre des Architectes / Conseil francophone et germanophone. (2016). *Le BIM, un enjeu majeur pour les architectes*.
- Ordre des Architectes. (2018). *Le BIM ! Combien ça coûte ?*
- Querel, M. (2016). *BIM : L'expérience de Singapour*. Paris: Dialog.
- Schreyer, A. (2016). *Architectural design with SketchUp : 3D modeling, extensions, BIM, rendering, making, and scripting*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Smith, P. (2014). BIM implementation - global strategies. *Creative Construction Conference* (pp. 482-492). Elsevier.
- Teicholz, P. (2013). Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies (Another Look). *AECbytes Viewpoint* , 7.
- Tranchant, A. (2016, Avril-Juin). Le BIM dans le secteur du BTP : Ressenti des architectes. *Sondage réalisé sur un panel de 177 professionnels*. France.
- Valente, C. (2017). *La complexe transition vers le BIM*. Consulté le mai 17, 2018, sur BIM & BTP: <https://bimbtp.com/premium/la-complexe-transition-vers-le-bim/>
- Valente, C. (2018). *Ce que n'est pas le BIM*. Consulté le mai 17, 2018, sur BIM & BTP: <https://bimbtp.com/decouvrir-le-bim/ce-que-nest-pas-le-bim/>

Table des figures

Figure I-1 – Complexité de la structure organisationnelle (Holzer, 2016).....	11
Figure I-2 - Schématisation de l'échange d'informations entre les acteurs d'un projet.....	12
Figure I-3 - Implantation du BIM au niveau mondial.....	15
Figure I-4 - Versions du format IFC depuis 1997 (Laakso & Kiviniemi, 2012)	20
Figure II-1 - Interventions de la maquette numérique dans la vie d'un bâtiment.....	34
Figure II-2 - LOD, lod, loi.....	37
Figure II-3 - Principe d'interopérabilité.....	40
Figure II-4 - Structure simplifiée du format IFC.....	43
Figure II-5 - Assemblage groupe et composant	49
Figure III-1 - Schéma récapitulatif de la méthodologie.....	51
Figure III-2 - Structure du fichier.....	52
Figure III-3 - Vue aérienne du Bâtiment B52.....	53
Figure III-4 - Distribution des zones de conception	54
Figure III-5 - Détermination du point de référence du projet	55
Figure III-6 - Fenêtre des calques sur SketchUp	56
Figure III-8 - Création des dossiers de la base de données.....	57
Figure III-8 - Base de données sur SketchUp.....	57
Figure III-9 - Géolocalisation du projet.....	58
Figure III-10 - Modification position du nord.....	59
Figure III-11 - Propriétés des éléments de la maquette.....	59
Figure III-12 - Modélisation de la topographie.....	60
Figure III-13 - Création de la topographie modifiée	60
Figure III-14 - Modification de la topographie avec l'empreinte du bâtiment	61
Figure III-15 - Création d'une poutre paramétrique (1).....	63
Figure III-16 - Création d'une poutre paramétrique (2).....	63
Figure III-17 - Création d'une poutre paramétrique (4).....	64
Figure III-18 - Création d'une poutre paramétrique (3).....	64
Figure III-19 - Création d'une poutre paramétrique (5).....	65
Figure III-20 - Création d'une poutre paramétrique (6).....	65
Figure III-21 - Création d'une poutre paramétrique (7).....	66
Figure III-22 - Paramètres nécessaires pour une composition de parois.....	67
Figure III-23 - Comparaison des logiques de conception d'éléments.....	68
Figure III-24 - Maquette numérique – 1 ^{er} état d'avancement.....	69
Figure III-25 - Composition de la toiture	69
Figure III-26 - Coupe de la toiture (document de base).....	70
Figure III-27 - Découpage de la toiture par opérations booléennes.....	70
Figure III-28 - Maquette numérique – 2 ^{ème} état d'avancement	71
Figure III-29 - Sélection par étage et catégorie	72
Figure III-30 - Association fonctions et couleurs	72

Figure III-31 - Vue 3D de la répartition des pièces au niveau 0	73
Figure III-32 - Hiérarchie Master Maquette.....	74
Figure III-33 - Création sous-maquette B.....	75
Figure III-34 - Importation de la sous-maquette A.....	75
Figure III-35 - Visualisation de la sous-maquette A.....	76
Figure III-36 - Création d'un plancher dans la continuité de l'existant.....	76
Figure III-37 - Mise à jour de la sous-maquette A.....	77
Figure III-38 - Visualisation de la modification de A.....	77
Figure III-39 - Export IFC depuis SketchUp	80
Figure III-40 - Visualisation du projet sous Revit	81
Figure III-41 - Visualisation des poutres sous Revit.....	81
Figure III-42 - Interface du logiciel Solibri Model Viewer.....	82
Figure III-43 - Lecture des propriétés d'une poutre sur Solibri	83
Figure III-44 - Vue du menu scènes de SketchUp	85
Figure III-45 - Création du plan de coupe	85
Figure III-46 - Remplissage de la coupe	86
Figure III-47 - Textures du plan de coupe.....	86
Figure III-49 - Étiquetage d'une dalle.....	87
Figure III-48 - Interface de LayOut et plan vierge	87
Figure III-50 - Étiquette d'un plancher.....	88
Figure III-51 - Détail de paroi sur LayOut	88
Figure III-52 - Extrait de plan coté et annoté.....	89
Figure III-53 - Schéma du traitement des données depuis SketchUp vers Excel.....	90
Figure III-54 - Fenêtre de génération de rapports.....	92
Figure III-55 - Génération de rapport	93
Figure III-56 - Extrait du rapport créé	94
Figure III-57 - Import brut du rapport sur SketchUp	95
Figure III-58 - Enregistreur de macros dans Excel.....	95
Figure III-59 - Rapport de nomenclature des pièces.....	98
Figure III-60 - Exemple de conception paramétrique (1)	101
Figure III-61 - Exemple de conception paramétrique (2)	102

Table des tableaux

Tableau I-1 - Les différents niveaux de BIM.....	13
Tableau I-2 - Différents standards de l'OpenBIM (BuildingSMART, 2018)	16
Tableau I-3 - Coût du BIM par poste (Ordre des Architectes, 2018).....	30
Tableau II-1 - Comparaison 2D, 3D, BIM.....	33
Tableau II-2 - Interventions de la maquette numérique dans la vie d'un bâtiment	36
Tableau II-3 - Définition des différents niveaux de développement	38
Tableau II-4 - Dimensions de la maquette.....	39
Tableau II-5 - Comparatif des logiciels.....	47
Tableau III-1 - Liste des calques (non exhaustif).....	56
Tableau III-2 - Liste des paramètres utilisés pour la poutre.....	66
Tableau III-3 - Code couleur des catégories de pièces.....	72
Tableau III-4 – Proposition de mise en forme des données des éléments coulés sur place ..	91
Tableau III-5 - Métré des éléments coulé sur place	97
Tableau III-6 - Nomenclature des pièces.....	98
Tableau III-7 - Nomenclature des poutres préfabriquées	99

Table des graphiques

Graphique I-1 - Productivité des industries entre 1964 et 2012 (BLS, US dept. Of Commerce, 2013)	8
Graphique I-2 - Avantages liés à l'utilisation du BIM (Tranchant, 2016).....	17
Graphique I-3 - Avantages du BIM apportant la plus grande valeur, (McGraw-Hill Construction, 2010).....	18
Graphique I-4 - Retour sur investissement négatif ou nul suivant les acteurs (McGraw-Hill Construction, 2012).....	21
Graphique I-5 - Répartition des agences selon la taille (Ordre des Architectes (FR), 2014) ..	23
Graphique I-6 - Croissance du nombre de salariés suivant la taille de la structure (Ordre des Architectes (FR), 2014).....	24
Graphique I-7 - Courbe de Mc Leamy (Agence Qualité Construction, 2016)	27
Graphique I-8 - Évolution de l'implantation du BIM en Angleterre (NBS, 2017)	28
Graphique I-9 - Taux d'utilisation du BIM suivant la taille de la structure (NBS, 2017).....	29
Graphique II-1 - Répartition des logiciels au sein des agences d'architecture (NBS, 2017) ..	44