

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE	5
1.1 Building Information Modeling : origine et définition	5
1.1.1 Difficultés en construction	5
1.1.2 BIM : technologie, organisation et processus	7
1.2 Plan de gestion BIM : un cadre pour le changement.	8
1.2.1 Identification des buts et des usages BIM	10
1.2.2 Définition des processus pour l'exécution du projet et les échanges d'informations	13
1.3 Niveaux de développement (LOD)	15
1.3.1 Définition des LOD	15
1.3.2 LOD, LOd, et autres acronymes	16
1.3.3 Critiques et limites	19
1.3.4 LOD et entrepreneurs spécialisés	23
1.4 Raisons pour l'intégration des entrepreneurs spécialisés dans la gestion du BIM	24
1.5 Synthèse	26
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE	29
2.1 Phase 1 : Phase exploratoire auprès des entrepreneurs spécialisés	30
2.1.1 Diagnostiquer : Identification du problème	30
2.1.2 Planifier les actions : questionnaire et structure du rapport	31
2.1.3 Appliquer les actions : Collecte des données, analyse et rédaction du rapport	31
2.1.4 Évaluer le contenu : Validation	34
2.2 Phase 2 : Précisions autour des échanges d'information en MEP	34
2.2.1 Portrait des entreprises	35
2.2.2 Analyse des données	36
CHAPITRE 3 RÉSULTATS ET DISCUSSION	39
3.1 Phase exploratoire	39
3.2 Analyse des échanges d'information autour des maquettes numériques en MEP	44
3.2.1 Présentation des thèmes d'analyse	44
3.2.2 Organisation	46
3.2.3 Processus de gestion de l'information	50
3.2.4 Processus de gestion de la maquette	52
3.3 Analyse	54
3.4 Discussion	55

CONCLUSION.....	57
ANNEXE I RAPPORT : ÉVALUATION DU NIVEAU DE DÉVELOPPEMENT DES MAQUETTES NUMÉRIQUES DU BIM POUR LES SOUS- TRAITANTS DE LA CONSTRUCTION AU QUÉBEC	61
ANNEXE II RÉSULTATS DES ENTREVUES CONDENSÉS	97
ANNEXE III QUESTIONNAIRE D’ENTREVUE SEMI-DIRIGÉE - PHASE 1.....	128
ANNEXE IV FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	131
ANNEXE V PROTOCOLE D’ENTREVUE ENTREPRENEUR SPÉCIALISÉ – PHASE 2.....	135
ANNEXE VI PROTOCOLE D’ENTREVUE ENTREPRENEUR GÉNÉRAL, INGÉNIEUR ET ARCHITECTE – PHASE 2	139
ANNEXE VII RÉSULTATS DES ENTREVUES PHASE 2 CONDENSÉS.....	143
BIBLIOGRAPHIE.....	170

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 2.1 Entreprises contactées	32
Tableau 3.1 Variables dégagées de la phase exploratoire.....	41
Tableau 3.2 Catégories et thématiques d'analyse de la seconde phase d'entrevues	45

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1 Lien entre les notions de PGB, usages BIM et LOD.....	9
Figure 1.2 Usages BIM.....	11
Figure 1.3 Matrice LOD	14
Figure 1.4 Définition des LOD	16
Figure 1.5 Illustration de la nuance LOD et LOd	18

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

BIM : acronyme anglais pour *Building Information Modeling* utilisé couramment pour désigner la modélisation des données du bâtiment. Cette notion sera développée dans le corps du mémoire.

CEGQ : Corporation des Entrepreneurs Généraux du Québec, organisme mandataire du projet et participant au financement.

DB : acronyme anglais pour *Design Build*, utilisé couramment pour désigner les projets réalisés suivant le modèle conception-construction. Il s'agit d'un mode de réalisation dans lequel les services de conception et de construction sont regroupés contractuellement en une seule entité.

DBB : acronyme anglais pour *Design Bid Build*, utilisé couramment pour désigner les projets réalisés suivant un processus classique d'appel d'offres.

IFC : acronyme anglais pour *Industry Foundation Classes* qui sont un format de données neutre (non relié à un éditeur de logiciel) pour échanger des informations via les maquettes numériques.

GRIDD : Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable en milieu bâti, équipe de recherche du projet.

IPD : acronyme anglais pour *Integrated Project Delivery*, utilisé couramment pour désigner les projets réalisés suivant le modèle de réalisation de projet intégré. Il s'agit d'un mode de réalisation qui intègre l'ensemble des acteurs dans un processus exploitant leurs points forts pour optimiser la conception, la fabrication et la livraison du projet.

LOD : acronyme anglais pour *Level of Development* utilisé couramment pour désigner le niveau de développement des objets numériques des maquettes du BIM. Ce concept se divise en deux notions : le niveau de détail (**LOd**) qui désigne le contenu graphique, ou visible, de ces objets; et le niveau d'information (**LOI**), qui décrit le contenu non-graphique, c'est à dire les informations attachées, de ceux-ci.

MVD : acronyme anglais pour Model View Definition utilisé couramment pour désigner une Définition de la Vue de Modèle. Il s'agit d'un sous-ensemble d'un modèle au format interopérable IFC, contenant des informations définies, utilisé pour satisfaire des exigences spécifiques lors d'échange de modèles.

PGB : Plan de Gestion BIM, notion présentée dans un chapitre consacré en page 8.

XVIII

PPP : acronyme anglais pour *Private-Public Partnership*, utilisé couramment pour désigner les projets réalisés suivant un modèle de partenariat public-privé. Il s'agit d'un ensemble de contrats dans lesquels une autorité publique confie à une entreprise privée la mission de financer, de construire ou de gérer des ouvrages nécessaires au service public.

TQC : Tel Que Construit, désigne le niveau de précision d'une maquette numérique qui représente les conditions réelles de mise en œuvre des systèmes d'un bâtiment.

TQC : Tel Que Conçu, désigne le niveau de précision d'une maquette numérique qui représente l'ouvrage dans les conditions où il a été conçu.

INTRODUCTION

L'utilisation grandissante et les bénéfices potentiels de la modélisation des données de bâtiment, définie usuellement par l'acronyme anglais BIM pour *Building Information Modeling*, poussent les acteurs du secteur de la construction à implémenter cet ensemble de technologies, de processus et de méthodes organisationnelles dans leurs entreprises. Par exemple, l'adoption du BIM pour l'industrie de la construction aux États-Unis a connu une forte croissance ces dernières années. En effet, le niveau d'adoption de l'industrie a augmenté de 28% en 2007, à 71% et plus de 74% pour les entrepreneurs, en 2012 (McGraw-Hill Construction, 2012). Au Québec, même si le taux d'adoption du BIM reste faible avec seulement 31% en 2015, l'utilisation du BIM tend à se généraliser à l'ensemble de l'industrie avec un virage amorcé en 2010 et un taux de satisfaction de 68% après implémentation (Tahrani, Forgues, & Poirier, 2015). Ce secteur, composé de nombreuses petites et moyennes entreprises et représentant près de 12% du PIB pour la province du Québec (Commission de la construction du Québec, 2017), les enjeux liés à l'adoption d'un changement de méthodes de travail se doivent d'être maîtrisés pour en tirer les meilleurs bénéfices.

Afin de bien définir les objectifs et les obligations liés à l'utilisation du BIM, des documents spécifiques doivent être établis. Ils ont pour rôle de préciser les éléments essentiels au travail collaboratif autour des maquettes numériques, non pris en compte dans les méthodes contractuelles traditionnelles. En Amérique du Nord, lors de la définition des exigences pour l'utilisation du BIM, la fiabilité du contenu des maquettes numériques est qualifiée par les niveaux de développement (LOD). En effet, les LOD représentent le cœur des spécifications pour l'évolution du modèle et aident les intervenants à définir la portée du BIM ainsi que les responsabilités pour l'avancement de certains objets numériques à un niveau de détail donné. Ils sont caractérisés par une échelle définissant les besoins pour une conception schématique (LOD niveau 100), jusqu'aux requis pour fournir une maquette tel que construit (LOD niveau 500). Les LOD visent deux objectifs : la définition des résultats attendus par phase de projet afin d'établir comment l'évolution de la conception sera traduite par

l'évolution des LOD et à quel rythme; et l'assignation des tâches de modélisation avec notamment l'ajout d'informations liées aux éléments du modèle, fournies par différents acteurs du projet, en plus de l'affinement de la géométrie (Bedrick, 2008)

Si les requis des concepteurs et entrepreneurs généraux sont aujourd'hui mieux connus et définis pour l'établissement des contrats, très peu de recherches sont menées au sujet des besoins des entrepreneurs spécialisés alors que ce sont ces derniers qui réalisent la construction. Le lien entre le contenu des maquettes numériques et les opportunités associées pour ces entrepreneurs, en regard de leur multiplicité et de leurs capacités, est encore méconnu. En ajoutant à cela le manque d'expérience de l'industrie dans ce domaine, la tendance à pousser l'information ainsi que de la dichotomie entre la conception et la construction, les maquettes se retrouvent paradoxalement surchargées ou présentent des lacunes; et un manque de cohérence de ces modèles est ainsi relevé. Il existe donc un besoin de définir quelles sont les conditions à réunir pour que les maquettes de conception puissent être réutilisées par les entrepreneurs spécialisés, et comment elles doivent être mises à jour pour la fabrication et pour la livraison des Tels que construits (TQC).

Dès lors, la question de recherche se définit comme suit : « Quels sont les besoins des entrepreneurs spécialisés, en termes de contenu des maquettes numériques, pour améliorer les processus liés au BIM lors de la communication entre les différents acteurs et l'exploitation des maquettes pour la réalisation de la construction ? »

L'objectif principal de ce projet est de définir les requis des entrepreneurs spécialisés pour le contenu des maquettes numériques fournies par les concepteurs. Pour atteindre cet objectif, l'étude sera conduite de manière à répondre aux sous-questions suivantes :

- Qu'est-ce que le BIM ?
- Qu'est-ce que le plan de gestion BIM et comment cadre-t-il l'évolution des maquettes ?
- Pourquoi considérer les besoins des entrepreneurs spécialisés et les intégrer au PGB ?
- Quelle est la perception des entrepreneurs spécialisé québécois du BIM ?
- Comment améliorer la production et le partage d'informations ?

La recherche se divise en deux phases. Une première phase de collecte de données à l'aide d'entrevues et d'analyses en collaboration avec la Corporation des Entrepreneurs Généraux du Québec (CEGQ). Dans cette partie, en plus de documenter dans un rapport les besoins informationnels des entrepreneurs spécialisés afin de les faire remonter jusqu'aux concepteurs et donneurs d'ouvrages, le partenaire industriel a ajouté l'objectif de fournir des informations aux sujets du BIM, des LOD et des nouveaux métiers liés au BIM aux entrepreneurs spécialisés pour faciliter leur transition dans cette voie. Le rapport fourni à la CEGQ est consigné en annexe. Suite à cette première partie parcourant la majorité des spécialités des entrepreneurs, des variables influençant les LOD ont été dégagées afin d'amorcer un approfondissement au niveau de la mécanique du bâtiment. Cette seconde phase a pour but d'explorer les mécanismes d'échanges d'informations entre entrepreneurs spécialisés, entrepreneurs généraux, ingénieurs et architectes pour cette discipline spécifique afin d'en cerner les différents enjeux.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres. Dans le premier chapitre, la revue de littérature présente les concepts de base du BIM ainsi que ses principaux outils technologiques et pratiques, le besoin conséquent de gérer cette nouvelle approche de la construction par un plan de gestion BIM (PGB) et les avantages de l'intégration des entrepreneurs spécialisés dans les processus de partage d'information. Dans le deuxième chapitre, la méthodologie de recherche employée est développée. Enfin, les enjeux des échanges d'informations pour la mécanique du bâtiment sont exposés.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre présente le contexte et explicite les concepts pertinents à l'étude. Les LOD, notion centrale de la recherche, sont relatifs au niveau de précision des maquettes numériques développées et échangées lors de projets menés suivant l'approche BIM. Dans une première partie, le BIM, conduisant à d'importants changements aussi bien aux niveaux des méthodes de travail que des outils employés, est présenté. Ces changements sont cadrés par le plan de gestion BIM (PGB), document de support indispensable à une implantation réussie du BIM, qui est présenté dans un deuxième temps. Le PGB permet de consigner les objectifs généraux relatifs au BIM pour un projet de construction. Ces objectifs sont traduits en méthodes d'application du BIM, ou usages BIM, qui sont utilisés comme base pour la définition des tâches à accomplir et l'établissement des processus d'échange d'informations. Les LOD sont par la suite définis pour cadrer ces échanges et représentent la fiabilité des informations contenues dans les objets numériques à partager. Ils sont déterminés de façon à maximiser les bénéfices des usages BIM. Une troisième partie est consacrée à l'approfondissement de la notion de LOD. Enfin le rôle des entrepreneurs spécialisés ainsi que les avantages d'une implication plus grande de leur part dans la conception de ce processus d'échange d'informations sont explicités.

1.1 Building Information Modeling : origine et définition

1.1.1 Difficultés en construction

Historiquement, de nombreux principes ancrés dans l'industrie de la construction poussent au travail en silo. La nature même de l'industrie composée d'une multitude de petites entreprises spécialisées dont la sélection pour un projet est basée sur le prix le plus bas encourage la compétition et constitue un premier obstacle à la collaboration. Le caractère éphémère des

projets, avec des interactions en moyenne d'une dizaine de mois, et les faibles marges de profits limitent également le partage d'information et la coopération entre les parties prenantes (Brousseau & Rallet, 1995). En raison de ces contraintes, les intervenants priorisent et optimisent alors les produits de leurs propres disciplines aux dépens de la valeur globale du projet.

Ceci conduit à de nombreux gaspillages, aussi bien physique, tels que la pollution et les résidus de matériaux, qu'immatériel, comme les dépassements de délais et de budgets. En effet, la construction est responsable de 50% de la consommation mondiale des ressources, dont une grande partie se retrouve sous forme de déchets matériels (Sev, 2009), et souffre d'un manque d'efficacité et de fiabilité avec des retards et des surcoûts récurrents. Dans le but d'éliminer ces gaspillages, Nagapan, Rahman, Asmi, Memon, et Latif (2012) recommandent de casser les silos et d'accentuer la collaboration et la communication entre les acteurs afin de réduire les incompréhensions à l'origine de ceux-ci. Il s'agit ici de premiers niveaux dans lesquels s'inscrivent changements apportés par le BIM.

Outre ces gaspillages, les difficultés liées au manque d'innovation, à une absence ou à une mauvaise utilisation des nouvelles technologies sont un frein à son évolution. En effet, le développement et l'appropriation de nouvelles connaissances lors de projets se révèlent difficiles si les systèmes de gestion informatique utilisés ne sont pas appropriés (Zhang, Mao, & AbouRizk, 2009). Cependant une simple acquisition d'un des nombreux logiciels disponibles sur le marché n'est pas suffisante pour résoudre ces problèmes. Leur emploi isolé du système de gestion de l'entreprise et non-intégré dans les pratiques d'affaire dû au manque de maîtrise lors de leur implémentation limite les bénéfices potentiels de telles technologies (Kang, O'Brien, & Mulva, 2013). De plus, l'utilisation de systèmes inaptes à échanger des données compréhensibles et exploitables entre eux occasionnes de nombreuses pertes. En effet le manque d'interopérabilité coûte 15.8 Milliards de dollars (US) dont 6.8 directement liés aux activités de construction et 2.2 milliards supportés par les entrepreneurs spécialisés (Coleman & Jun, 2004). L'utilisation de nouvelles technologies et la maîtrise de leur intégration dans les projets et les pratiques de l'entreprise est alors un autre niveau auquel le BIM intervient.

Ainsi, afin de produire plus rapidement et à moindre coût des ouvrages de meilleure qualité et plus performants (Staub-French et al., 2011), le BIM a émergé comme une nouvelle approche de la construction basée sur la collaboration et le partage d'informations sur fond de représentations numériques de l'ouvrage.

1.1.2 BIM : technologie, organisation et processus

La première apparition de l'acronyme BIM en 1986, utilisé dans un sens proche de celui connu aujourd'hui, coïncidait avec une amplification de l'écart entre la productivité en construction et des autres industries (Eastman, Teicholz, & Sacks, 2011). Plus récemment, dans le document de référence « *BIM handbook : A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* » (Eastman et al., 2011), le BIM est qualifié de nouvelle approche de la construction dans laquelle une représentation numérique de l'ouvrage est utilisée dans le but de faciliter, d'accélérer et de fiabiliser les échanges d'informations et comportant d'importants changements organisationnels et de pratiques dans l'industrie de la construction. En effet, le BIM favorise une modification radicale des configurations traditionnelles d'entreprise, soit une structure hiérarchisée et organisée par lots, pour une structure d'entreprise horizontale, cassant ainsi le mode de travail en silo (Forgues, Staub-French, Tahrani, & Poirier, 2014). Les responsabilités, les modes de coordination, les processus de travail ainsi que les objectifs à atteindre sont alors revus en conséquence.

De nombreuses études de cas ont démontrés les avantages d'implémentation du BIM dans un projet. Il s'agit entre autres d'une amélioration de la productivité et de la qualité de l'ouvrage, d'une diminution des conflits, des reprises de travaux, des coûts, ou encore de la durée du projet. Cependant, si après 30 ans ces bénéfices devraient être observés dans de nombreux projets de construction, la constante évolution des termes et des technologies crée toujours de nombreuses confusions.

Une des principales confusions vient de l'assimilation de l'acronyme BIM à *Building Information Model* ou modèle de données du bâtiment. En effet, le National BIM Standard

(NBIMS) définissait le BIM comme Building Information Model par « une représentation digitale des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un ouvrage. Comme tel, il sert de ressource partagée de savoir pour toutes les informations au sujet de l'ouvrage, formant ainsi une base fiable pour la prise de décision durant son cycle de vie, dès sa conception » (NBIMS, 2007, page 21, traduction libre). Or, il ne s'agit ici que du produit de la modélisation découplée des aspects organisationnels et procéduraux inhérents au BIM. Dès lors, une vision uniquement technologique du BIM limite la bonne intégration par l'industrie. De plus la tendance qui consiste à utiliser les outils technologiques du BIM calqués sur des processus adaptés au DBB ne peut conduire aux profits annoncés par une refonte des méthodes de travail. En effet, Kang et al. (2013) introduisaient leur étude au sujet de l'impact des technologies de l'information en construction par le constat suivant : seulement 3% des acteurs ayant implémenté le BIM pensent avoir obtenu les bénéfices attendus.

C'est donc en respectant une certaine équité entre les efforts entrepris dans les trois dimensions : la technologie, l'organisation et les processus, que l'adoption du BIM en tant que *Building Information Modeling* doit être amorcée afin d'accéder à tous ses bénéfices (Staub-French et al., 2011). Ceci entraîne d'importantes modifications des pratiques traditionnellement employées : il s'agit de remplacer le modèle de lots séparés et linéaires par un système intégré et itératif. Pour cela, *The Computer Integrated Construction Research Program* (2011), propose d'encadrer son implémentation et son utilisation au moyen d'un document de référence : le Plan de gestion BIM.

1.2 Plan de gestion BIM : un cadre pour le changement.

Le premier pas essentiel à la mise en place du BIM pour un projet de construction est l'établissement d'un PGB (Forgues et al., 2011). Il s'agit d'un document définissant les rôles et responsabilité des intervenants, les utilisations et buts du BIM, tout en cadrant les processus, procédures et méthodes associés. Le PGB permet ainsi d'anticiper les problèmes dus à une collaboration inhabituelle en construction, et centralise les informations pertinentes pour le projet (Ben Hassine, Collot, Dionne, Frenette, & Sert, 2014).

En accord avec le document de référence « *BIM Project Execution Planning Guide* » présenté par *The Computer Integrated Construction Research Program (2011)*, les éléments initiaux du PGB relatifs à l'identification des buts et des usages BIM seront présentés dans un premier temps. Puis, l'élaboration des processus d'exécution du BIM et d'échanges d'informations constituera le deuxième volet. Ces deux parties introduisent les notions d'usages BIM puis de LOD, formant le cœur de cette revue de littérature. La Figure 1.1 ci-dessous illustre le lien entre PGB, usages BIM et LOD.

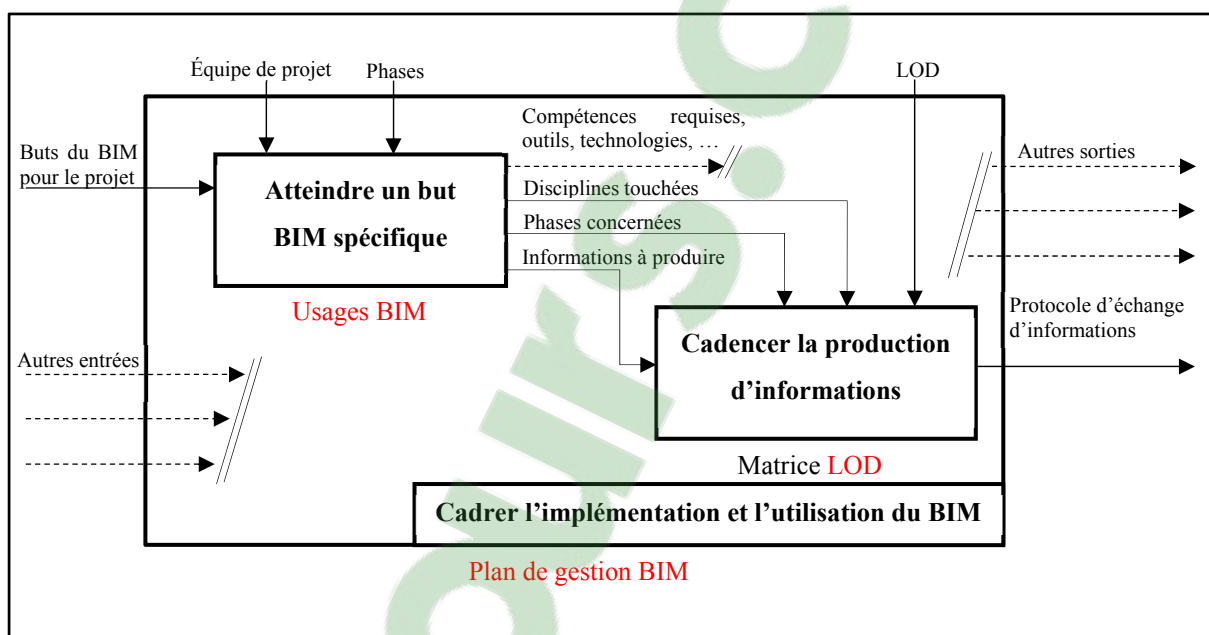


Figure 1.1 Lien entre les notions de PGB, usages BIM et LOD

Enfin, la dernière section du PGB, définissant l'infrastructure de support pour l'implantation du BIM telle que planifiée dans les parties précédentes, n'introduit pas de concepts utiles ou d'informations supplémentaires pertinentes dans le développement de la présente étude. Elle ne sera donc pas traitée.

1.2.1 Identification des buts et des usages BIM

La première partie du PGB dresse un portrait des attentes et des objectifs généraux relatifs à l'emploi du BIM pour le projet. Dans un premier temps, une affectation des rôles organisationnels au niveau du BIM pour le projet est effectuée. Les personnes ressources, dont les gestionnaires et coordinateurs BIM, sont identifiés et leurs responsabilités sont définies (Institute for BIM in Canada, 2013). La deuxième étape consiste à définir les objectifs du projet qui seront à atteindre via le BIM. Ces objectifs peuvent être aussi bien relatifs à l'amélioration de la performance générale du projet, tels que la conception d'un ouvrage moins énergivore, qu'au perfectionnement de tâches spécifiques, comme une amélioration des estimations par des relevés de quantités automatiques (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011). Les usages BIM sont alors identifiés en adéquation avec les capacités de l'équipe de projet de façon à correspondre à ces objectifs.

Un usage est une méthode d'application du BIM permettant d'atteindre un ou plusieurs buts spécifiques, quelle que soit la phase du projet. Leur détermination facilite le développement des processus d'échanges d'informations, la définition des livrables ainsi que la mise en place de l'infrastructure du projet (Kreider & Messner, 2013). L'implémentation des usages du BIM s'effectue selon cinq objectifs principaux : rassembler, générer, analyser, communiquer et réaliser. Les 25 usages, présentés Figure 1.2 suivant une organisation par phase du projet, rentrent ainsi dans ces catégories (Kreider & Messner, 2013).

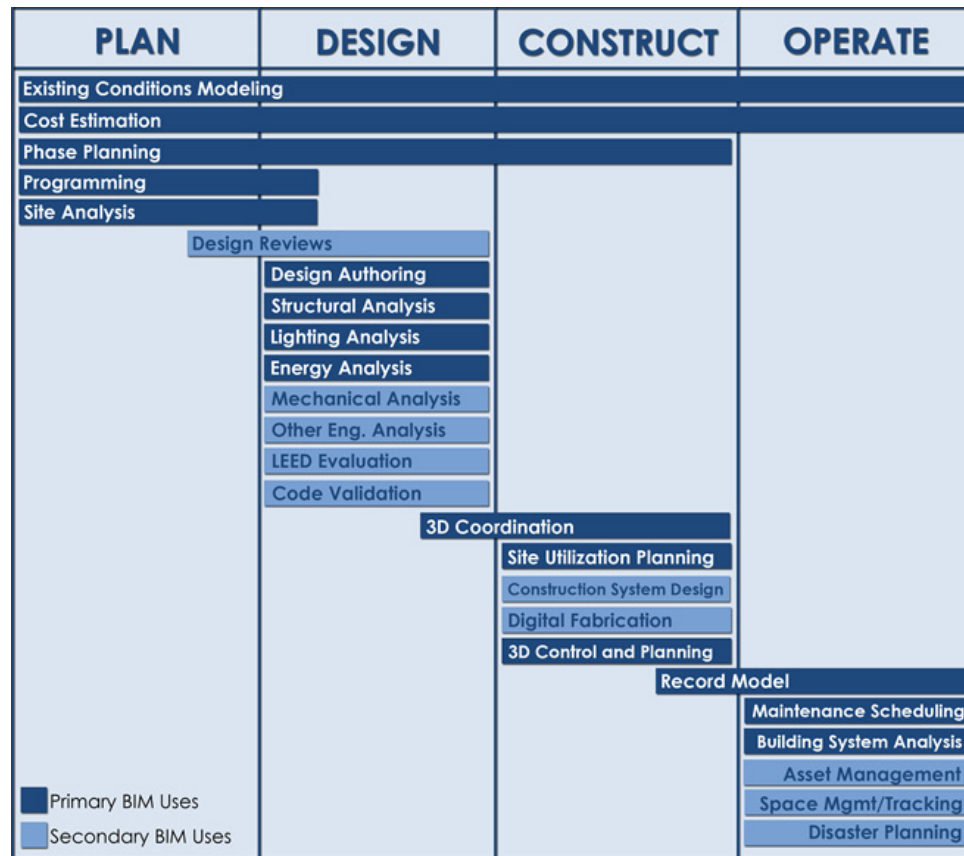


Figure 1.2 Usages BIM

Tirée de The Computer Integrated Construction Research Program (2011)

L'objectif *rassembler* est employé dans le sens de collecter, quantifier et effectuer un suivi des informations du projet (Kreider & Messner, 2013). Pour ce faire, des moyens technologiques tels que les scans laser ou les drones couplés à des logiciels de traitement de données permettent d'acquérir de l'information sur l'environnement du projet afin de modéliser les conditions existantes, ou de mesurer son avancement durant la construction (contrôle et planification 3D). De plus, des relevés de quantités peuvent être effectués directement à partir des maquettes et fournissent des données utiles à l'estimation des coûts et à la mise en œuvre d'un échancier.

À partir de la demande du client et des informations de terrain, les concepteurs amorcent la phase de *génération* des données avec la modélisation, le paramétrage et les premiers dimensionnements d'un concept préliminaire. Les entrepreneurs, et principalement les

entrepreneurs spécialisés, compléteront ce modèle et créeront le plus grand volume d'information. Il s'agit de générer et agencer des objets numériques dans un environnement 3D en y ajoutant les paramètres et les informations nécessaires aux analyses sans pour autant effectuer ces dernières. Les informations produites doivent être exploitables via des technologies utilisées par les destinataires afin de limiter le besoin de redessiner et de ressaisir de l'information.

Puis les usages principalement utilisés lors de la phase de conception (*Design*) visibles dans la Figure 1.2 sont employés afin d'*analyser* les solutions générées. Le respect du cahier des charges, du programme fonctionnel et technique, des codes et des standards de construction est ainsi assuré par des études cadrées par ces usages. Cette partie d'analyse comprend également l'étude de scénarios alternatifs, des coûts, ainsi que la coordination et planification. Pour cela, les modèles sont confrontés pour des détections d'interférences, des simulations 4D (intégrant l'échéancier) ou ND (logistique, environnement, etc...) et sont utilisés afin d'optimiser la phase de construction et résoudre la plupart des problèmes avant même le début du chantier.

Les modèles et informations produits, qu'ils proviennent de la phase de conception ou de construction, sont alors partagés au travers de plateformes de collaboration centralisant les données du projet. Il s'agit ici des usages dont l'objectif principal est de *communiquer*, qui l'on peut être détaillé en visualiser, représenter, convertir et documenter (Kreider & Messner, 2013). Ils permettent d'établir des protocoles de communication directement au travers de ces plateformes avec un support visuel qui permet une meilleure compréhension globale du projet facilitant ainsi la collaboration.

Enfin, l'utilisation de fichiers dans un format permettant la fabrication, sont utilisés dans le but de produire et préfabriquer directement à partir de la maquette, il s'agit de l'usage « fabrication digitale ». Ceci s'inscrit dans l'objectif de *réalisation*, au même titre que le contrôle 3D et la gestion de l'utilisation du site de construction offrant entre autres la possibilité d'assurer la logistique de chantier.

L'intégration des usages BIM au projet conduit alors à l'emploi de nouvelles technologies ainsi qu'aux changements organisationnels et procéduraux, essentiels à l'obtention des bénéfices du BIM (Staub-French et al., 2011). En effet, afin d'apporter une valeur ajoutée conséquente, les usages doivent être définis en commençant par les derniers à être réalisés. En les identifiant en premier lieu, l'équipe peut ainsi se concentrer sur la détermination des informations qui seront à valoriser en aval avant d'élaborer les processus d'exécution et d'échanges d'informations (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011). Ceci entraîne une évolution de la structure de gestion de la construction pour une structure horizontale, avec une implication au plus tôt de toutes les parties prenantes, afin de favoriser une production de livrable BIM par chaque organisation en fonction des pratiques de l'utilisateur suivant (Staub-French et al., 2011). Ce sont les outils permettant de cadencer la production des informations essentielles à ces livrables qui seront présentés dans la prochaine section.

1.2.2 Définition des processus pour l'exécution du projet et les échanges d'informations

Dans cette partie du PGB, les moyens d'implantation et de réalisation des usages BIM identifiés sont décrits précisément. À un premier niveau, il s'agit d'explicitier les interactions entre les différents usages sélectionnés et comment ils sont intégrés au cycle de vie du projet avant de les détailler un à un. Puis des informations telles que les données à créer et à échanger, les références ou encore les responsables des processus, sont identifiées. (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011).

Ces processus étant basés sur des échanges de données au travers de maquettes numériques, le contenu minimum de ces dernières est spécifié (Institute for BIM in Canada, 2013). Ce contenu est quantifié au Canada au moyen des niveaux de développements (LOD) (Bolpagni & Ciribini, 2016) et est classifié dans le PGB via une grille d'échange d'informations, ou matrice LOD. La matrice LOD permet de regrouper les informations nécessaires à la collaboration autour des maquettes numériques. Elle est établie en fonction des informations à intégrer au modèle numérique, du découpage de celui-ci, et des requis pour les échanges d'informations. Ces échanges sont définis en regard de la personne à qui l'information est destinée, du type de

fichier à utiliser et de l'information nécessaire à l'usage BIM ciblé (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011). En effet, de nombreux guides statuent explicitement que les informations contenues dans les LOD sont relatives à des usages BIM spécifiques (Trelidal, Vestergaard, & Karlshøj, 2016).

La matrice, dont un aperçu est fourni Figure 1.3, se divise en lignes horizontales suivant les objets à modéliser et en colonnes suivant les phases du projet. Pour chaque objet et phase du projet on affecte une tâche de modélisation à un auteur qui devra créer l'élément et/ou l'amener au LOD renseigné dans cette matrice. Des jalons y sont également intégrés et permettent de cadencer et de suivre la production d'informations (BIM Forum, 2015).

Milestones shown here are examples only ->		SD			DD			CD			Estimating		
		Date			Date			Date			Est. 1		
		Date			Date			Date			Date		
	Relevant Attribute Tables	LOD	MEA	Notes	LOD	MEA	Notes	LOD	MEA	Notes	LOD	MEA	Notes
SUBSTRUCTURE													
Foundations	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Standard Foundations	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Wall Foundations	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Column Foundations	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Standard Foundation Supplementary Components													
Special Foundations	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Subgrade Enclosures	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Slabs-on-Grade	A, B - Str. Concrete												
Water and Gas Mitigation													
Substructure Related Activities													
SHELL													
Superstructure													
Floor Construction	A, B Cold Formed Metal Framing;												

Figure 1.3 Matrice LOD

Tiré de « Level of Development Specification Part II » BIM Forum (2016)

Les LOD sont les éléments cruciaux à y renseigner afin de s'assurer de la présence de l'ensemble des informations pertinentes sans cependant surcharger les maquettes. Étant le standard en vigueur au Canada (Bolpagni & Ciribini, 2016), il s'agit du concept central sur lequel est bâti le protocole d'échange d'informations et de communication au travers des

maquettes numériques. Une définition de ce concept sera exposée dans le chapitre suivant, ainsi que ses limites, critiques, et les enjeux reliés.

1.3 Niveaux de développement (LOD)

La quantification par LOD, développée aux États-Unis, est utilisée ou a inspiré d'autres standards dans des pays tels que l'Australie, le Canada ou la France (Bolpagni & Ciribini, 2016). Dans cette partie, les acronymes LOD pour niveau de développement (ou *Level of Development*) et LOd pour niveau de détail (ou *Level of detail*) seront utilisés. Dans un premier temps, le concept de LOD tel que défini par les institutions américaines sera présenté. Puis les différentes approches et les perspectives des auteurs seront confrontées afin de mettre en lumière certaines nuances et confusions quant aux termes utilisés pour qualifier le contenu des objets et des maquettes numériques.

1.3.1 Définition des LOD

Les LOD sont définis par l'AIA comme un moyen de quantifier l'information minimale requise pour un usage spécifique (The American Institute of Architects, 2008). Ils permettent aux créateurs des objets numériques de préciser quelles informations fournies sont fiables et aux récepteurs de comprendre quelles utilisations sont possibles à partir des informations reçues (BIM Forum, 2016). Les LOD ont alors pour principaux objectifs de faciliter la planification des informations à fournir dans les maquettes, faciliter le contrôle et le cadencement de la production d'informations, statuer sur la fiabilité des informations reçues via les maquettes et fournir un standard qui peut être utilisé dans les contrats et PGB (BIM Forum, 2016).

Tel que présenté en figure 1.4 ci-dessous, il s'agit d'une catégorisation allant du niveau 100 pour une conception schématique, au niveau 500 pour un objet représenté tel que construit. Ces définitions sont cumulatives, c'est-à-dire un niveau possède toutes les caractéristiques du niveau précédent. Elles s'appliquent aux objets numériques et non à la maquette dans sa globalité (BIM Forum, 2015).


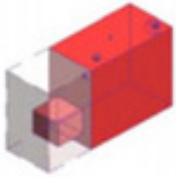



LOD 100 Conceptual	LOD 200 Approximate geometry	LOD 300 Precise geometry	LOD 400 Fabrication	LOD 500 As-built
				
The Model Element may be graphically represented in the Model with a symbol or other generic representation , but does not satisfy the requirements for LOD 200. Information related to the Model Element (i.e. cost per square metre, etc.) can be derived from other Model Elements.	The Model Element is graphically represented in the Model as a generic system, object, or assembly with approximate quantities, size, shape, location, and orientation.	The Model Element is graphically represented in the Model as a specific system, object, or assembly accurate in terms of quantity, size, shape, location, and orientation.	The Model Element is graphically represented in the Model as a specific system, object, or assembly that is accurate in terms of quantity, size, shape, location, and orientation with detailing, fabrication, assembly, and installation information .	The Model Element is a field verified representation accurate in terms of size, shape, location, quantity, and orientation.
	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.

Figure 1.4 Définition des LOD

Tirée de NATSPEC (2013)

Afin de permettre une coordination interdisciplinaire mieux adaptée aux besoins en information pour la coordination entre les différentes spécialités, l'ajout d'un LOD intermédiaire est suggéré : le LOD 350, plus détaillé qu'un LOD 300, mais qui ne contient pas toutes les informations d'un LOD 400 (BIM Forum, 2015).

1.3.2 LOD, LOd, et autres acronymes

De nombreux termes, relatifs au même concept, sont proposés dans des papiers visant à combler les lacunes observées des principaux standards en vigueur. En effet, il n'existe pas de consensus au niveau international pour définir le contenu d'un modèle numérique. L'industrie de chaque pays ayant ses particularités des variantes ont été développées pour répondre à des

processus et des difficultés spécifiques (Gigante-Barrera, Ruikar, Crunden, & Ruikar, 2017; Trelidal, Vestergaard, & Karlshøj, 2016; Van Berlo & Bomhof, 2014). Cependant Bolpagni et Ciribini (2016), par un recensement des différents standards en vigueur, affirment qu'il est aisé de les comparer et de trouver des similitudes, la majorité se basant sur les standards américains, définis dans la section précédente, et anglais (Trelidal et al., 2016). Les LOD tels que développés aux États-Unis sont ceux utilisés au Canada et sont considérés comme plus flexibles et moins liés aux phases du projet que les *Level of Definition*, utilisés au Royaume-Unis (Gigante-Barrera et al., 2017). De plus, le standard américain est le plus cité dans la littérature et il sert de base de comparaison à ceux instaurés dans d'autres pays. C'est donc sur celui-ci qu'un approfondissement sera mené.

Dans le document de référence de BIM Forum, le LOd est défini comme une donnée d'entrée des LOD qui précise une quantité de détails inclus dans un objet numérique. Le LOD statue quelles informations sont fiables et peuvent être utilisées. Si la distinction entre ces deux notions peuvent engendrer des confusions, McPhee (2013) illustre la nécessité de leurs existences par l'exemple suivant : « la réalité d'un projet entraîne l'utilisation d'un important LOd en début de projet alors que le LOD est au plus bas, ainsi, on peut générer des rendus architecturaux afin de vendre le concept au client. Par la suite, pour réduire la taille et la complexité durant la documentation, l'utilisation d'un faible LOd est judicieuse alors que le LOD est au plus haut. » (McPhee, 2013, traduction libre). La Figure 1.5 donne un aperçu de la différence entre les niveaux de l'échelle LOD, avec des attributs fiables en rouge, et LOd. En effet, même si des caractéristiques précises peuvent être relevées sur l'élément à un LOD 100, seule sa condition, c'est-à-dire « office chair », est vraie.

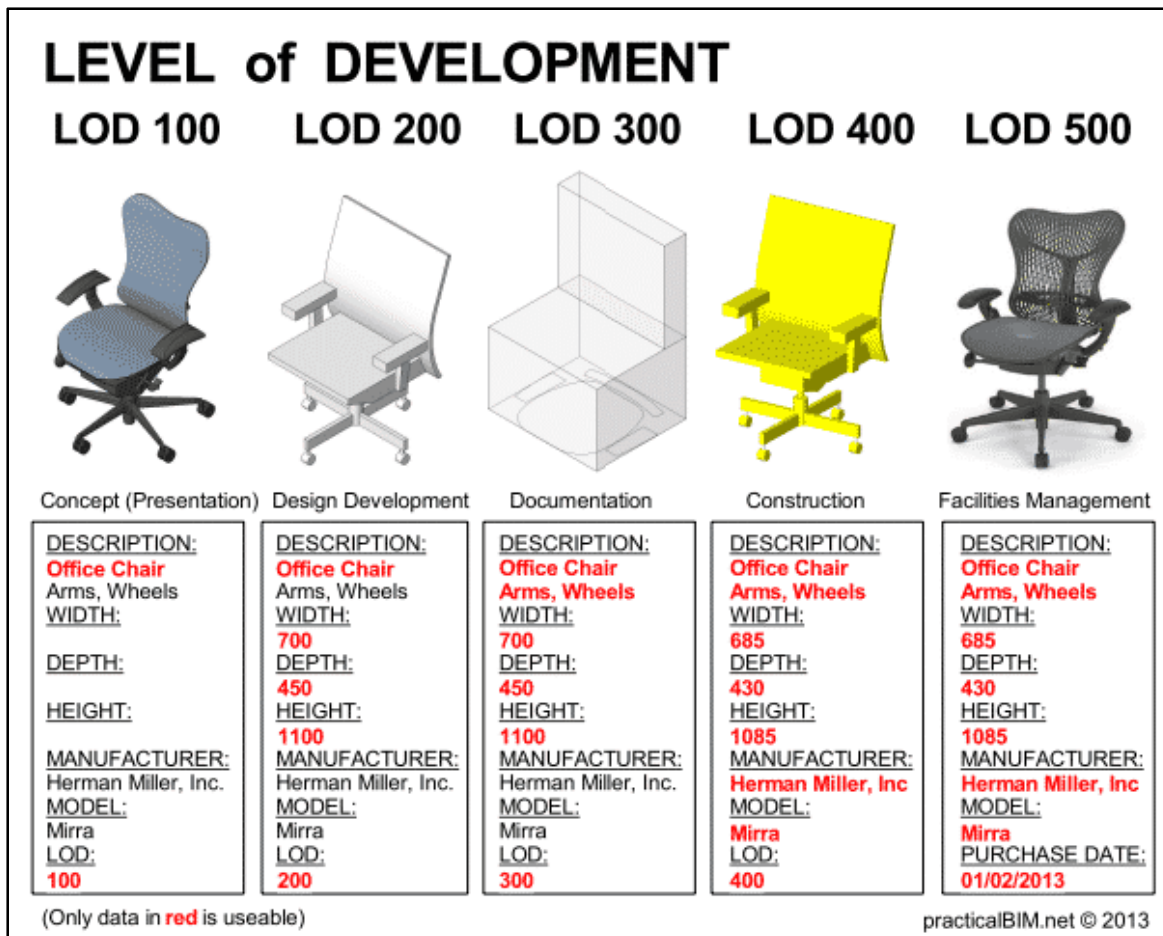


Figure 1.5 Illustration de la nuance LOD et LOD

Tirée de McPhee (2013)

Le LOD définit alors le niveau de précision de l'objet modélisé, sans pour autant assurer que cette représentation sera définitive. Le LOD y ajoute une dimension de fiabilité. En d'autres termes, si l'on représente un objet par un LOD 400, il semblera réaliste, au bon emplacement et des informations telles que ses dimensions ou son fabricant pourront être extraites et utilisées. Cependant si l'on spécifie que ce dernier à un LOD 200, les données fiables et exploitables ne seront que son emplacement et ses dimensions approximatives même si sa représentation semble réaliste. Il est facile de trouver en ligne des objets génériques ou des produits de fabricant à un LOD 400. Cependant, ces objets ne seront pas forcément définitifs ou ceux à utiliser lors de la construction, y compris si la maquette dans laquelle ils sont présents

semble aboutie. C'est cette notion au-delà de l'apparence, permettant d'éviter les erreurs d'interprétation, que quantifie le LOD à la différence du LOd (Bedrick & Davis, 2012).

Une autre interprétation courante de la dualité LOD et LOd, conduit à une distinction entre les données graphiques et non graphiques (Trelidal et al., 2016). Même si BIM Forum (2015) ne définit pas explicitement le LOd comme attribut géométrique, le groupe de travail introduit le concept de *Associate Attribute Information* visant à définir les éléments non graphiques. De plus, dans son document « *Level of Development Specification* », les différents LOD appliqués aux objets courants dans les projets de construction sont référencés dans un tableau à deux colonnes, une montrant une vue graphique et l'autre ses attributs. Cette séparation suggère également une distinction entre le niveau graphique et informationnel. Différents auteurs proposent alors d'assimiler la notion de LOd au contenu graphique et de LOI (niveau d'information) au contenu non-graphique tel que pour les *Level of Definition* en vigueur au Royaume-Unis explicitement distingués en *Level of Detail* ou *Grade* et *Level of Information* (LOI) (Bolpagni & Ciribini, 2016; McPhee, 2013; Prušková & Nývlt, 2017; Tolmer, Castaing, Diab, & Morand, 2017). Dans ces études les LOD ont alors deux paramètres d'entrée, le niveau de précision graphique, caractérisé par le LOd et le niveau de précision informationnel, originellement défini par *Associate Attribute Information* par BIM Forum, mais souvent qualifié de LOI.

1.3.3 Critiques et limites

Même si la définition des LOD par l'AIA a été publiée en 2008, l'existence d'acronymes semblables et de définitions changeant avec le temps, avec des standards parfois incohérents entre différents pays, rendent confus sa signification et son application au BIM (Bolpagni & Ciribini, 2016). Les trois principales difficultés relevées par Hooper (2015) sont : un manque de compréhension profonde et d'utilisation des LOD en pratique; un scepticisme sur son utilité; une difficulté d'intégration de la matrice et des LOD dans les processus BIM et son fort besoin de maintenance.

En effet, même si le BIM Forum, auteur du document de référence pour les LOD « *Level of Development Specification* », soutient que la définition et l'interprétation des LOD associé à trois usages BIM autorisés, communs et spécifiques (relevé de quantité, coordination 3D et contrôle et planification 3D) pourraient être assez complètes pour supporter tous les autres (Tredal et al., 2016), la définition actuelle des LOD n'est pas assez explicite pour cela (Van Berlo & Bomhof, 2014). Gigante-Barrera et al. (2017), appuient ce constat en affirmant que les LOD ne sont pas suffisants pour définir adéquatement les caractéristiques d'un objet. Ils sont adaptés aux objets courants mais pas à ceux ayant besoins d'attributs spécifiques. De plus Aksomitas (2017) critique le manque de précision des LOI dont le champ est souvent vide ou complété par la formule "des informations non-graphiques peuvent être ajoutées". Cette phrase est visible dans quatre des cinq niveaux illustrés à la Figure 1.4. L'effet inverse est également observé dans une étude menée par Bedrick et Davis (2012) qui soutient que certains concepteurs sont hésitants à l'adoption des LOD par crainte d'emploi d'un cadre trop précis et rigide.

Le document de l'AIA *Building Information Modeling Protocol Exhibit* incluant la définition des LOD est un protocole pour les échanges d'information qui a pour but d'être un document standard et utilisé dans les contrats pour limiter ces incompréhensions. Cependant tel que précisé par Hooper (2015) dans sa troisième difficulté, la matrice LOD contenue mais aussi les autres préconisées par d'autres guides sont difficiles à exploiter, à maintenir et sont généralement gérées en marge des processus BIM. En accord avec ce constat, Tredal et al. (2016) soulignent que définir précisément les livrables BIM en utilisant le concept de LOD tel qu'il existe, et associé à une matrice est un défi considérable. En effet, couvrir une large gamme d'éléments tout en restant une solution simple d'utilisation s'avère être un enjeu de taille conduisant à des imprécisions et à l'inverse du but recherché : la mise en place d'efforts considérables pour des bénéfices moindres. Rester fidèle à ce genre de guide transforme ainsi les matrices LOD en un document supplémentaire développé puis inutilisé et oublié (McPhee, 2013).

Dans un article visant à répondre à cette difficulté, McPhee (2013) appuie ce constat via la question suivante : « Est-il envisageable de rentrer tous les objets dans ces tableaux, quand bien même ils seraient remplis, qui s’y référerait? » (McPhee, 2013, traduction libre). S’il apparaît évident que le LOD sera plus important au niveau tel que construit qu’au niveau de la conception pour la majorité des objets, il serait judicieux de renseigner les caractéristiques des éléments désobéissant à cette règle afin de s’éviter un travail de classification aussi long qu’inutile. Pour cela, McPhee (2013) recommande de ne pas utiliser les matrices LOD rigoureusement mais de traiter les LOD comme un concept assez large plutôt qu’un outil précis. En effet, les LOD doivent être utilisés de manière flexible comme base conceptuelle d’aide à la définition des protocoles d’échange d’informations plutôt qu’une vérité établie (Bedrick & Davis, 2012). Dans cet optique, en plus de répondre au manque de précision des LOI, l’approche américaine semble la bonne approche. En effet, dans la version 2016 du document « Level of Development Specification » de BIM Forum, des précisions sont apportées via une *Table d’attributs* dans laquelle les caractéristiques des objets numériques sont listées et peuvent être associées à un LOD par l’équipe BIM en début de projet.

Une autre difficulté décrite fréquemment dans la littérature concerne le manque d’études relatives aux applications des LOD. En effet, Hooper (2015) attribue les obstacles exposés précédemment à un manque de recherche sur les applications d’un cadre LOD et Trelidal et al. (2016) à un manque de recherche sur l’utilité des LOD au sujet des bénéfices sur les projets. Même si Gigante-Barrera et al. (2017) soulignent que des études sur des usages BIM ont été menées, elles n’établissent pas de lien précis entre ces usages et les LOD à produire pour les servir.

Certains auteurs ont cependant étudié les LOD en parallèle d’autres concepts et ont proposé des adaptations ou même développé leur propre standard. Lors d’une étude visant à caractériser l’impact des LOD sur l’effort de modélisation, Leite, Akcamete, Akinci, Atasoy, et Kiziltas (2011) démontrent que plus de détails dans un modèle ne signifie pas forcément plus de temps de modélisation mais qu’il n’y a pas de lien évident entre les LOD et ce temps de modélisation. Hooper (2015) et Van Berlo et Bomhof (2014) se sont penchés sur un parallèle entre les LOD

et les *Model View Definition* (MVD). L'idéal serait de définir une MVD pour chaque tâche car elles contiennent l'information minimale pour une tâche donnée. En effet, les MVD sont un regroupement d'informations extraites d'un modèle au format interopérable IFC afin de permettre des usages comme l'analyse énergétique ou acoustique. Cependant, ce travail est toujours en développement et la couverture de tous les usages par les MVD s'avère être chronophage, ne peut traiter tous les objets et ne résout pas la question de quelle information mettre en amont dans le modèle puisqu'il s'agit d'une extraction de caractéristiques. De plus, travailler autour des IFC consiste à se concentrer sur des standards orientés logiciels et non sur leurs applications ou sur les processus BIM intrinsèquement liés à la collaboration entre les acteurs (McPhee, 2016). Enfin, ces mêmes études soutiennent que la partie graphique n'a que peu d'importance, contrairement aux informations attachées qui apportent une forte valeur ajoutée. Au niveau du développement de nouveaux standards, il ne semble pas pertinent d'introduire de nouveaux termes ajoutant des nuances à une base conceptuelle déjà complexe. Entre autres, les notions de *Set of Information*, *Level of Accuracy*, *Level of Completeness*, proposent des alternatives répondant à certaines lacunes des LOD mais une amélioration d'un standard largement utilisé dans l'industrie est une meilleure voie pour limiter les incompréhensions et favoriser une implémentation dans l'industrie de la construction.

Parmi ces initiatives, on retrouve Van (2012) qui se penche sur le problème du LOD pour la soumission en cas de DBB avec des spécifications recommandant d'utiliser une liste de produits alternatifs, ce qui correspondrait paradoxalement à un LOD 200 même si un composant fourni par un fournisseur spécifique est utilisé. Carrato et Wilson (2016) proposent un cadre dont le but est d'adapter les LOD à différentes situations car actuellement, ils sont principalement destinés à la conception. Ils développent alors des alternatives de LOD adaptés aux achats ainsi qu'à la construction, ces derniers divisés selon six catégories comme les structures temporaires ou la gestion des matériaux (Carrato & Wilson, 2016). Dans le cas de la présente étude, si quelques recherches ont été menées au sujet des bénéfices du BIM pour les entrepreneurs spécialisés (Poirier, Staub-French, & Forgues, 2015), aucune n'est disponible sur les connaissances et les besoins en information pour un projet BIM de ces mêmes entrepreneurs.

1.3.4 LOD et entrepreneurs spécialisés

Le manque de compréhension profond des usages, des attributs reliés et du concept même de LOD de la part de différents acteurs complique l'expression de leurs besoins informationnels (Leite et al., 2011; Van Berlo & Bomhof, 2014). Quand bien même ce concept n'est pas utilisé par manque de connaissances, les utilisateurs en aval se servent du contenu des maquettes à leur risque. Des décalages entre leurs attentes et les informations fournies apparaissent et conduisent à des conflits et à des opportunités manquées. Ceci souligne encore un manque de recherche sur le sujet ainsi qu'un besoin d'études sur les mécanismes qui donneront des solutions standardisées utilisables et répondant aux besoins de l'industrie (Hooper, 2015). De plus, Leite et al. (2011) montrent la nécessité de conduire des recherches analysant les besoins en LOD des parties prenantes pour différentes activités de conception et de construction. Ce type d'études est inexistant auprès des entrepreneurs spécialisés.

Idéalement, tous les membres du projet devraient connaître et communiquer les informations dont ils auront besoin avant le début du projet. Les processus d'échanges d'informations devraient alors être développés par une équipe composée de toutes les parties, à savoir le propriétaire et ses représentants, les architectes, les ingénieurs, les entrepreneurs généraux et les principaux entrepreneurs spécialisés (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011). Pour cela, l'utilisation de modes d'approvisionnement favorisant l'implication des entrepreneurs spécialisés en amont du projet, tels que la conception-construction ou contrats relationnels de type « *Integrated Project Delivery* », permet à ces derniers d'être parties prenantes à la rédaction des requis pour les échanges informationnels (Koskela, Howell, & Lichtig, 2006). Cependant, en pratique, les entrepreneurs spécialisés ne sont pas inclus dans cette équipe avec un mode de travail en conception-soumission-construction ancré dans le secteur et ne favorisant pas leur implication. Pourtant, les échanges de données étant les plus intenses et critiques pour le respect des coûts, de la qualité et des délais au niveau de la construction de l'ouvrage, ce sont les voix de ces entrepreneurs qui devraient être entendues.

1.4 Raisons pour l'intégration des entrepreneurs spécialisés dans la gestion du BIM

Tel qu'indiqué dans la partie précédente, les rares recherches menées auprès des entrepreneurs spécialisés sont consacrées à l'étude de la mesure des bénéfices du BIM et à l'emploi d'usages BIM spécifiques. Aucun papier n'est disponible pour l'implication des entrepreneurs spécialisés dans la définition des LOD ou plus largement, sur leur participation au PGB. Dans ce qui suit, un parallèle est établi entre la participation de ces entrepreneurs plus tôt dans la conception de l'ouvrage et leur implication dans le développement des processus d'échanges d'informations d'un projet BIM. Des résultats issus de recherches sur la coordination et la modélisation 3D lors de projet BIM sont également utilisés.

Dans les pratiques courantes des projets de construction Nord-Américains, les entrepreneurs spécialisés ne sont que rarement intégrés à l'équipe au début de projet et ne participent donc pas aux premières étapes de la conception et de la planification (Gil, Tommelein, Kirkendall, & Ballard, 2000). Pour la conception, un certain manque d'expérience de terrain de la part des architectes et des ingénieurs entraîne le développement de solutions inefficaces, des problèmes de coordination ou un manque d'informations dans les documents de construction (Korman, Simonian, & Speidel, 2008). Ceci donne naissance à de nombreuses demandes d'informations, des ordres de changements et des modifications tardives de conception dont le coût accroit avec l'avancement du projet (Pulaski & Horman, 2005). Pour la planification, les concepteurs n'ont pas connaissance des délais de livraison des matériaux et des équipements ou du dégagement nécessaire à certaines tâches spécifiques. Ces contraintes ne sont alors pas prises en compte et allongent les délais de construction. De plus, les processus de modifications de l'échéancier et de la conception sont séquentiels et itératifs, lents et entraînent donc des retards et des coûts supplémentaires (Korman et al., 2008). Ces inefficacités apparaissant durant la construction sont en partie dues à un manque d'interaction au plus tôt entre les concepteurs et les constructeurs. En effet, dans des processus traditionnels, les connaissances techniques et pratiques des entrepreneurs spécialisés ne sont prise en compte ni lors de la conception, ni durant la planification (Gil et al., 2000).

Pourtant, l'implication précoce des entrepreneurs spécialisés peut prévenir les concepteurs contre le développement de solutions inefficaces ou impossibles à construire. Ainsi, afin d'optimiser les caractéristiques de l'ouvrage et les processus de construction, il est souvent nécessaire de recueillir des commentaires de la part des entrepreneurs spécialisés (Leicht & Messner, 2008). Les entrepreneurs spécialisés peuvent apporter des solutions créatives dont les ingénieurs et les architectes n'ont pas nécessairement connaissance. En effet, du fait de leur implication continue dans les projets conduits par différents concepteurs et clients, ils sont exposés aux innovations technologiques et à une grande diversité des solutions aux problèmes de conception. De plus, étant au plus près de la construction, ils ont une meilleure connaissance des contraintes affectant les processus de construction. Enfin, leur travail est impacté par les délais de livraison des fournisseurs, les informations transmises par les concepteurs, le dégagement nécessaire à l'accomplissement de tâches et l'organisation du chantier. Ils ont donc une meilleure connaissance des actions à prioriser car ils entrent en scène en fin de tous les processus (Gil et al., 2000).

Dans le cadre du BIM, Korman et al. (2008), lors d'une étude sur l'utilisation de la coordination 3D chez les entrepreneurs spécialisés en MEP, encouragent la communication d'un nombre de critères de base afin d'informer les concepteurs sur les solutions techniques existantes permettant de résoudre les problèmes de coordination à l'ingénierie. Les clients, concepteurs et entrepreneurs généraux devraient ainsi valoriser les connaissances des entrepreneurs spécialisés en les invitant à jouer un rôle d'assistant à la conception (Gil et al., 2000). Au sujet de la modélisation 3D, Leicht et Messner (2008) soulignent le problème récurrent d'un manque de connaissances conduisant à requérir et fournir trop de détails pour les modèles. Ils recommandent d'aligner la quantité d'information avec les utilisations du modèle des utilisateurs en aval afin d'éviter de produire des détails non nécessaires, voire même d'en oublier. En effet, selon Pulaski et Horman (2005), la disponibilité des bonnes informations au niveau approprié de détail est nécessaire pour valoriser les connaissances des constructeurs.

Dès lors, les auteurs cités démontrent l'importance d'une implication au plus tôt des entrepreneurs spécialisés dans les projets de construction. Que ce soit pour développer des

solutions globalement optimisées ou améliorer les processus de construction, il est bénéfique de faire valoir l'expertise des entrepreneurs spécialisés. Ceci est d'autant plus important pour le développement des LOD dans une approche BIM dans laquelle une grande quantité d'informations critiques est poussée vers la construction et est échangée durant cette phase.

1.5 Synthèse

La construction est confrontée aux problèmes de gaspillage, de sous-productivité et de dépassements de coûts et de délais ayant pour origine une industrie fragmentée. De plus, elle fait les frais d'une sous-utilisation des technologies de l'information. Le BIM par sa politique de collaboration et de partage d'informations sur support de maquettes numériques apporte une réponse à ces enjeux.

Dans ce chapitre, les trois composantes de l'approche BIM : les changements technologiques, organisationnels et procéduraux, ont été présentés. Le volet technologique comporte l'accomplissement des usages BIM par l'utilisation de diverses solutions informatiques; il est le plus connu et le plus simple à mettre en œuvre. En revanche les changements organisationnels et procéduraux apportent des défis importants qu'il est nécessaire de maîtriser et de documenter. C'est ce qui est réalisé par l'intermédiaire du PGB. En effet, le PGB constitue un document essentiel encadrant le travail collaboratif autour des maquettes numériques afin de faciliter la progression d'une organisation de la construction suivant des processus traditionnels jusqu'à une approche BIM. Cependant, il reste méconnu des acteurs de la construction, et surtout de la majorité des entrepreneurs rencontrés lors de ce projet.

De plus, même si le partage d'informations est une composante essentielle du BIM, il est freiné par un mode de travail en conception-soumission-construction ancré dans le secteur, ne favorisant pas l'implication de toutes les parties prenantes, mais encourageant la compétition. Pourtant, de nombreux auteurs recommandent l'intégration de tous les acteurs en amont de la construction afin d'accéder à d'importants bénéfices. Ceci contribue à une augmentation de la qualité et de la productivité par une meilleure connaissance des besoins et des contraintes des

acteurs au plus proche de la construction : les entrepreneurs spécialisés. Pour cela, une revalorisation de l'outil LOD utilisé pour définir le contenu des maquettes numériques dans le PGB, doit permettre de faire remonter leurs besoins en amont de la construction.

En effet, si les LOD sont définis par les personnes auxquelles les informations sont destinées, ils deviennent alors un outil efficace permettant de contrôler et de cadencer la production d'informations pertinentes dès la planification. Des LOD établis en fonction des besoins des entrepreneurs spécialisés, permettraient de se rapprocher des bénéfices d'une collaboration anticipée même s'ils ne sont pas directement impliqués au plus tôt des processus de définition des échanciers et de la conception de l'ouvrage. De plus, les LOD, utilisés comme substitut à une collaboration directe, permettent d'écarter les difficultés rencontrées sur chantier par une meilleure connaissance de l'expertise des constructeurs lors d'une pré-construction virtuelle de l'ouvrage.

Dans le prochain chapitre, la méthodologie de recherche utilisée pour recenser les pratiques, les attentes, les avantages, les difficultés et les enjeux relevés auprès des entrepreneurs spécialisés Québécois sera présentée.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Comme il a été démontré dans la revue de littérature, il n'y a que peu de recherche et peu de données sur le sujet développé. Cette recherche a donc été construite de manière à recueillir un large spectre d'information afin de mieux cerner les enjeux relatifs à l'étude avant d'entamer une phase d'analyse précise d'une partie du problème. La première partie de la recherche constitue donc une phase exploratoire au niveau des entrepreneurs spécialisés alors que la deuxième partie circonscrit le sujet à une spécialité : la mécanique, électricité et plomberie (MEP), au travers d'une analyse transversale de points de vue des acteurs principaux de la chaîne d'approvisionnement des projets.

La première phase s'est déroulée en partenariat avec la CEGQ. Celle-ci a défini deux objectifs : amorcer une base d'informations sur les requis des entrepreneurs spécialisés en termes de contenu des maquettes numériques afin de les faire remonter jusqu'aux concepteurs et donneurs d'ouvrages; et fournir aux entrepreneurs spécialisés, des informations aux sujets du BIM, des LOD et des nouveaux métiers liés au BIM, pour faciliter leur transition vers cette nouvelle approche de la construction. Cette recherche a donc pour but de résoudre un problème actuel relevé par une organisation de l'industrie de la construction, la CEGQ. Par définition, il s'agit d'une recherche appliquée. Pour affiner ces objectifs et recueillir les informations pertinentes à l'étude, une revue de littérature et des entrevues semi-dirigées ont été menées et consignées dans un rapport destiné à l'industrie (voir Annexe I). Comme dans ce mémoire la pauvreté de littérature a été relevée et confirme la nature exploratoire de cette première phase puisqu'elle vise à étudier un sujet méconnu de la part des acteurs industriels et peu documenté par la communauté scientifique.

La seconde phase de la recherche a été réalisée avec l'aide de partenaires de la chaire de recherche reconnus comme étant parmi les plus avancés en BIM au Québec dans leurs corps

de métiers respectifs. Si la première phase a permis d'évaluer et de comprendre la vision, les pratiques et les attentes des entrepreneurs spécialisés de diverses disciplines à l'égard du BIM et des LOD, cette deuxième phase s'est concentrée sur les mécanismes de collaboration et d'échange d'informations liés au BIM entre différentes parties prenantes des projets de construction. Afin de recueillir les données nécessaires, des entrevues semi-dirigées ont également été menées au moyen d'un protocole d'entrevue bâti à l'aide des résultats de la phase précédente. Ceci a permis d'assurer une continuité entre les deux phases et apporte un regard critique par une discussion des résultats de la partie exploratoire avec des acteurs plus avancés. Selon Paillé et Mucchielli (2016), le contact personnel avec les entrepreneurs, l'optique large et compréhensive adoptée lors de la récolte des données et leur analyse descriptive et non quantitative, placent cette étude dans le domaine qualitatif.

2.1 Phase 1 : Phase exploratoire auprès des entrepreneurs spécialisés

La méthodologie recherche-action est une méthodologie adaptée au type de recherche appliquée, puisqu'elle vise à résoudre un problème de terrain en collaboration avec des acteurs de l'industrie, sources de données qualitatives. La méthodologie utilisée lors de cette recherche est inspirée de la recherche-action qui, selon Azhar, Ahmad, et Sein (2009) est mieux adaptée à la gestion de la construction que les méthodes de recherche académiques classiques; ces dernières se concentrent sur des problèmes conceptuels et théoriques en négligeant la réalité de l'industrie. Les sept étapes de cette méthodologie sont : diagnostiquer, planifier les actions, appliquer ces actions, évaluer et préciser le contenu d'apprentissage. Les six premières constituent les divisions de ce chapitre alors que la dernière réside dans la rédaction de ce mémoire.

2.1.1 Diagnostiquer : Identification du problème

La phase de diagnostic a pour buts d'identifier, de cadrer et d'interpréter le problème de recherche, non par une simplification de ce dernier mais par une approche globale (Azhar et al., 2009). L'identification du problème passe par une revue de littérature au cours de laquelle une connaissance générale sur le BIM a été acquise. En effet, le BIM constitue l'ensemble

théorique dans lequel s'inscrivent les notions principales de cette étude : la définition des LOD, outil privilégié pour définir le contenu des maquettes numériques, et les relations entre cet outil, la gestion des informations des projets BIM et les entrepreneurs spécialisés.

2.1.2 Planifier les actions : questionnaire et structure du rapport

À la suite du développement d'un contexte théorique et de la mise en évidence des aspects nécessitant des améliorations, la phase de planification des actions est amorcée. Il s'agit de spécifier les objectifs et les moyens employés pour apporter un changement, solutions aux problèmes soulevés (Azhar et al., 2009). Les objectifs pour cette phase sont de transmettre aux acteurs en amont les besoins des entrepreneurs spécialisés, de fournir un cadre théorique pour la transition vers le BIM à ces entrepreneurs et d'amorcer une documentation liant les LOD et les entrepreneurs spécialisés. Pour cela, un rapport (voir Annexe I) est adressé à la CEGQ en vue d'une diffusion au public ciblé par l'organisation.

Des entrevues semi-dirigées sont menées pour recueillir des informations qui viendront confirmer ou infirmer les informations présentes dans la littérature et explorer les pratiques, les connaissances et les besoins informationnels des entrepreneurs spécialisés. L'intérêt des entrevues semi-dirigées est de laisser une plus grande liberté d'expression aux répondants. Un questionnaire est alors établi pour mener à bien ces entrevues. Ce questionnaire, présenté en Annexe III, est rédigé et agencé suivant quatre thèmes :

- pratiques BIM de l'entreprise;
- connaissances théoriques et implication dans le PGB et le LOD;
- méthodes de partage des informations et des maquettes numériques;
- attentes en terme de contenu des maquettes numériques.

2.1.3 Appliquer les actions : Collecte des données, analyse et rédaction du rapport

Afin de couvrir une large gamme de spécialités, des entrepreneurs spécialisés dans sept domaines différents ont été contactés. De plus, pour avoir une vision plus large de la chaîne

d’approvisionnement ainsi qu’une vision d’un autre angle du problème, un concepteur, un entrepreneur général, un fournisseur de matériaux et un fournisseur de logiciel ont été contactés. Sur les dix-sept entreprises contactées, douze ont accepté une rencontre. Les entrevues ont été conduites de Mai à Août 2017, chacune ayant une durée moyenne d’une heure. Les résultats portent alors sur des données recueillies auprès de neuf entrepreneurs spécialisés dans quatre domaines différents et ayant différentes expériences du BIM, ainsi qu’une firme d’ingénierie, un entrepreneur général, un fournisseur de matériaux. Le Tableau 2.1 ci-dessous donne des précisions sur les domaines d’activité des entreprises et leur associe un nom de code afin de garantir la confidentialité (voir annexe IV pour le formulaire de déclaration de confidentialité).

Tableau 2.1 Entreprises contactées

Spécialité / Discipline	Code entreprise	RDV Accepté	Personnes présentes
Béton	Bét_1	Non	
Béton	Bét_2	Non	
Électricité	Elec_1	Oui	Directeur du département dessin
Électricité	Elec_2	Oui	Dessinateur et coordinateur BIM
Électricité	Elec_3	Oui	Chargé de projet
Entrepreneur général	Géné_1	Oui	Coordinateur BIM pour l’électromécanique

Tableau 2.1 (Suite)

Spécialité / Discipline	Code entreprise	RDV Accepté	Personnes présentes
Fournisseur de béton	F.Bét_1	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Directeur qualité et développement de produits; • Ingénieur béton et responsable de la documentation technique; • Spécialiste technique et développement de produits spéciaux.
Fournisseur de logiciels	Log_1	Non	
Structures métalliques	Mét_1	Oui	Directeur BIM et Services dessins
Murs rideaux vitrés, fenestration, vitreries	Vit_1	Oui	Vice-président

Plomberie, chauffage et gaz	Plomb_1	Non	
Ingénierie en mécanique du bâtiment, département protection incendie	Ing_1	Oui	Technicien principal en protection incendie, anciennement entrepreneur spécialisé
Protection incendie	P.Inc_1	Non	
Ventilation, chauffage et air conditionné	Mec_1	Oui	Dessinateur
Ventilation, plomberie et tuyauterie spécialisées	Mec_2	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Directeur estimation ventilation; • Dessinateur en chef; • Directeur exécution ventilation; • Directeur exécution plomberie.
Ventilation, plomberie, tuyauterie spécialisées et électricité	Mec_3	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Vice-président; • Directeur technique.
Ventilation, plomberie, tuyauterie spécialisées et électricité	Mec_4	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Président, • Dessinateurs (2).

L'analyse des données, exposées dans le prochain chapitre, suit les trois étapes de l'analyse de données qualitatives proposées par Miles et Huberman (2003). Dans un premier temps, la condensation des données permet de sélectionner, simplifier et transformer les données brutes issues des notes et des enregistrements des entrevues (Miles & Huberman, 2003). Celle-ci est exposée en détail en annexe II via un résumé des données des entrevues regroupées par discipline des participants, thèmes du questionnaire et thèmes supplémentaires abordés pertinents à l'étude. La deuxième partie de l'analyse consiste à présenter les données, c'est-à-dire les exposer dans un format permettant de tirer des conclusions (Miles & Huberman, 2003). Des textes narratifs, des diagrammes ainsi que des tableaux ont été utilisés à ces fins et inclus dans le rapport destiné à la CEGQ. Enfin, les informations présentées conduisent à l'élaboration des conclusions par l'interprétation des similitudes, des configurations possibles des liens de causalité et des propositions. Ces conclusions doivent par la suite être vérifiées, cette étape de validation est présentée dans la prochaine section.

2.1.4 Évaluer le contenu : Validation

La vérification par les membres a été employée pour valider, nuancer et enrichir les résultats. Selon Miles et Huberman (2003), les personnes interrogées constituent une des sources les plus logiques d'évaluation car elles font partie intégrante du milieu observé. Une première version du rapport a été rédigée afin de solliciter un retour de la part des acteurs de l'industrie. La version finale du rapport intègre leurs commentaires. Sur les douze entreprises ayant participées aux entrevues, cinq ont retourné des commentaires au sujet du document fourni. Les retours s'inscrivent dans trois catégories :

- demande de modification dans la partie de condensation des données (1);
- corroboration des résultats issus de l'analyse de ses données et/ou de celles d'autres intervenants suivant l'expérience propre du participant (4);
- suggestion d'interroger un échantillon plus important d'entrepreneurs généraux et de concepteurs, clients des entrepreneurs spécialisés, afin de faciliter la compréhension des attentes bilatéralement (1).

Des commentaires affirment la prise de connaissance des besoins inconnus d'autres entrepreneurs spécialisés, ce qui appuie le fait que le rapport apporte une réponse au problème. La prise en compte de ces commentaires a abouti à la modification des données demandées et à un ajustement des analyses conséquentes. La prise en compte des besoins des entrepreneurs généraux et des concepteurs n'étant pas dans le sujet de l'étude, il n'a pas été jugé pertinent d'agrandir l'échantillon.

2.2 Phase 2 : Précisions autour des échanges d'information en MEP

Une exploration plus précise des mécanismes influencés par le BIM a été menée en MEP. Ce choix a été guidé par deux critères principaux relevés dans la littérature : le pourcentage d'adoption du BIM est le plus important dans cette spécialité (Kent, 2014) et la MEP compte à hauteur de 40 à 60% dans le budget des projets de construction complexes (Khanzode, 2010).

À partir des résultats des entrevues menées durant la première phase, des variables ayant une influence sur l'établissement des LOD ont été dégagées. Elles ont servi de base de discussion pour la seconde phase d'entrevue menée en Mai 2018 auprès d'un entrepreneur spécialisé en mécanique, électricité, plomberie (MEP), un entrepreneur général, un ingénieur en MEP et un architecte reconnus pour leurs compétences en BIM. Les entreprises rencontrées ont été sélectionnées en raison de leur expertise en BIM construite autour de plusieurs projets et années d'expérience. Elles sont présentées dans la section suivante. Le même format de rencontre que lors de la phase précédente a été utilisé, soit un modèle d'entrevue semi-dirigée d'une durée d'environ une heure appuyé par quatre protocoles adaptés au corps de métier de la personne rencontrée (voir Annexe V et VI). La méthodologie employée pour cette deuxième phase est inspirée, comme pour la phase exploratoire, de la recherche-action. La partie de diagnostique a été réalisée au moyen de la phase exploratoire de même que la construction du questionnaire. La collecte de données et la validation sont également semblables. Seule la phase d'analyse n'est pas similaire et sera développée dans une section de ce chapitre.

2.2.1 Portrait des entreprises

L'entrepreneur spécialisé compte plus de 500 employés et offre des services de plomberie, chauffage, ventilation, climatisation, électricité, réfrigération et gaz médicaux pour des projets industriels, commerciaux et institutionnels de toutes envergures. Il a construit son expertise BIM sur 4 ans et termine au jour de l'entrevue un projet BIM de grande envergure.

L'entrepreneur général est un précurseur en matière de BIM et de construction et conception virtuelle, il compte 4000 employés. L'entreprise est un chef de file au niveau du BIM et de l'intégration des nouvelles technologies en construction, elle a obtenu la certification CanBIM.

L'ingénieur est spécialisé en mécanique, électricité, immotique, télécommunications, services alimentaires et utilise les logiciels et les standards BIM depuis une dizaine d'années. Il s'agit d'une entreprise de plus de 300 employés engagée dans la transition énergétique offrant ses

services aussi bien pour l'existant que pour les nouvelles constructions pour des projets d'envergure.

L'entreprise d'architecture fait partie d'un groupe de professionnels international dont les bureaux d'architecture à Montréal comptent 200 employés. Elle réalise des projets commerciaux, institutionnel, résidentiels, aménagement corporatif et de certification LEED. Fort d'une expérience de nombreux projets BIM, l'entreprise est reconnue comme un chef de file en matière de BIM avec des membres de l'équipe impliqués dans la recherche.

2.2.2 Analyse des données

L'analyse des données repose sur la méthodologie employée lors de la première phase, c'est à dire : la condensation des données à partir des notes et enregistrements des entrevues; la présentation des données en les exposant dans un format permettant de tirer des conclusions; l'élaboration des conclusions; puis la validation par vérification par les membres.

Le regroupement des données a consisté en une retranscription littérale des enregistrements des entrevues en y ajoutant les commentaires relevés sous forme de notes. Puis, pour chaque document, une restructuration du texte a été effectuée de manière à regrouper et à organiser les idées similaires abordées par les intervenants. Par la suite chaque idée a été synthétisée afin de faciliter le croisement des données entre les différentes entrevues. Ceci conduit à la présentation des données. La mise en parallèle des quatre retranscriptions synthétisées ont mis en évidence la présence de 18 thématiques communes identifiées par mots clés et sujets discutés. Un mode de présentation sous forme de tableau à cinq colonnes, une pour les thématiques et une par entreprise interrogée, a été choisi pour sa facilité de lecture compte tenu le nombre restreint d'entrevues. Des conclusions préliminaires ont alors été formulées avant une présentation aux répondants.

Pour la présentation des résultats, afin de regrouper les 18 thématiques retenues en un nombre restreint de catégorie, les trois volets du BIM : la technologie, l'organisation et les processus

(Staub-French et al., 2011; Staub-French & Khanzode, 2007), introduits dans la revue de littérature, ont servi de base. Les processus étant le point regroupant le plus de thématiques, il est scindé en deux, une catégorie concentrée sur les processus de gestion de l'information et l'autre sur les processus de gestion de la maquette. De plus, le volet technologique ne comptant qu'une seule thématique et étant intimement liée à la maquette, il a été intégré à la catégorie gestion de la maquette. Un document regroupant l'ensemble de ces résultats ainsi qu'une synthèse par thématique est disponible en Annexe VII.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les LOD sont actuellement définis en fonction des phases du projet. Or, l'établissement des LOD uniquement en fonction du temps présente des lacunes. En effet, d'autres paramètres sont à prendre en compte afin d'optimiser la création et le partage d'informations. Sept paramètres ont été dégagés à partir des entrevues menées durant la première phase et ont servi de base pour conduire la seconde phase du projet. La seconde phase, dont les résultats sont présentés dans ce chapitre, consiste alors en un approfondissement pour une discipline spécifique : la mécanique, électricité, plomberie (MEP). Elle vise à explorer plus précisément les mécanismes et les enjeux de la communication et du partage d'informations autour des maquettes numériques.

Dans un premier temps, les principaux résultats et les variables dégagées lors de la première phase sont présentées et discutées. Ensuite, les données recueillies durant la deuxième phase et leur analyse seront présentées suivant les trois catégories exposées dans la partie précédente : l'organisation, les processus de gestion de l'information et les processus de gestion de la maquette. Une synthèse mettant en lumière les points saillants relevés ainsi que des recommandations conclura ce chapitre.

3.1 Phase exploratoire

Les résultats de la première partie du projet, la phase exploratoire, sont consignés dans un rapport destiné à l'industrie. Ce rapport constitue la principale contribution du projet (voir annexe I). Il est divisé en trois sections : l'état de l'art, la méthode de collecte des données et la synthèse et l'analyse. Le sous-chapitre suivant expose les principales informations contenues dans ce rapport. Afin d'obtenir plus de précisions, il est suggéré de se référer aux pages

indiquées de l'annexe I ainsi qu'aux comptes-rendus exhaustifs des entrevues de la phase exploratoire (annexe II).

Premièrement, les informations de l'état de l'art à souligner (page 69 à 79, annexe I) sont les suivantes : le BIM conduit à des changements non maîtrisés par les acteurs de l'industrie, il est donc nécessaire de les encadrer par un document spécifique : le PGB. Le PGB permet de définir précisément les objectifs du BIM qui sont traduits en usages, pour déterminer les différents processus, et plus particulièrement, les processus d'échange d'informations. Les LOD sont le standard utilisé pour définir les informations à renseigner dans ces échanges. Cependant ce standard est méconnu, n'est pas universel et est sujet à différentes interprétations et controverses. L'outil LOD n'est pas utilisé de façon pertinente, il faut une stratégie pour échanger et gérer les informations. De plus, les entrepreneurs spécialisés ne prennent pas part à la mise en place de ces outils et la littérature reste pauvre à leur sujet. Pourtant ce sont eux qui, en bout de chaîne, reçoivent toutes les informations critiques pour l'achèvement du projet.

Ensuite, le chapitre « Méthode de collecte des données » expose la méthodologie employée lors de cette première phase. Cette méthodologie est reprise dans le chapitre précédent de ce mémoire, elle ne sera donc pas détaillée dans cette section.

Enfin, les résultats sont consignés pages 82 à 91 de l'annexe I. Ils sont constitués des pratiques et des connaissances BIM des participants, des enjeux auxquels font face les entrepreneurs spécialisés vis-à-vis du BIM, de leurs attentes en termes de contenu des maquettes numériques et d'un élargissement auprès d'un ingénieur, d'un entrepreneur général et d'un fournisseur. Les attentes des entrepreneurs spécialisés sont synthétisées selon les points suivants :

- les maquettes des professionnels doivent devenir contractuelles et les modes contractuels doivent être revus;
- il doit y avoir une adaptation aux besoins en information des acteurs du projet; et
- le LOD attendu varie entre 200, conception en développement, et 400, prêt pour la fabrication, suivant les objets et acteurs.

Elles sont explicités pages 87 et 88 de l'annexe I.

À la lumière des résultats du rapport industriel, la phase exploratoire a permis de dégager des variables ayant a priori une influence sur les LOD à fournir. Ces variables, extraite d'une seconde analyse faisant suite à la rédaction du rapport industriel fournit à la CEGQ, sont présentées dans le Tableau 3.1 suivant :

Tableau 3.1 Variables dégagées de la phase exploratoire

Variable	Sous-variable	Précisions / Exemples
Phase du projet		Adaptation de l'information par rapport à l'avancement du projet et à la profession des intervenants impliqués dans cette phase
Mode contractuel	Possibilité de coopération pour la définition des LOD	
	Entrées différées des intervenants	Intégration de plus de détails pour favoriser la compréhension de ceux entrant plus tard ou allègement pour laisser de la liberté d'optimisation
	Entrée en amont des entrepreneurs	Appui pour une adaptation des LOD utiles à la construction
	Utilisation des maquettes des professionnels et ajustement du LOD en conséquence	Modélisation des maquettes de conceptions en intégrant les besoins des entrepreneurs Responsabilité de l'avancement de la modélisation dans ce cas
Utilité de la modélisation	Usage visé	
	Destinataire	

Tableau 3.1 (Suite)

Variable	Sous-variable	Précisions / Exemples
Temps alloué à la modélisation	Temps de modélisation en amont	Facilitation de l'implantation du BIM et ajustement des LOD
	Pré-coordination à l'ingénierie	Augmentation du temps accordé à l'ingénierie pour fournir des maquettes de qualité
Maturité de l'entreprise	Capacité de modélisation et de lecture des objets et des informations contenus dans les LOD pour un modélisateur et un destinataire	
Objets numériques	Précision ou liberté d'optimisation pour un type d'objet précis	Exemple : Salle mécanique vs réseau de conduit
Logiciels utilisés	Informations à renseigner et méthodes d'insertion	Exemple : Inclusion directe dans la maquette ou recours à un fichier joint
	Possibilité de pousser la modélisation de certains objets alors que d'autres sont inexistantes dans le logiciel et faussent ainsi la maquette	Exemple : Câble flexible ou barre omnibus remplacée par de la plomberie ou des conduits de ventilation dans Revit
	Performance (machine et logiciel) et interopérabilité	Influence sur la quantité et sur le type d'information à produire, lire et échanger

Les phases du projet sont le seul paramètre pris en compte lors de l'établissement des LOD, il s'agit d'une approche simple calquée sur la définition des LOD (voir Figure 1.5) et des gabarits de matrice LOD des PGB. Or, six autres critères ont été identifiés par les entrepreneurs spécialisés répondants (se référer à l'Annex III).

Les variables « utilité de la modélisation » et « mode contractuel » sont liées aux deux difficultés majeures relevées lors des entrevues : les maquettes des professionnels sont à redessiner et les contrats sont inadaptés; ainsi qu'à deux des trois exigences communes à l'ensemble des entrepreneurs : « il doit y avoir une adaptation aux besoins en information des acteurs du projet » et « les maquettes des professionnels doivent devenir contractuelles et les modes contractuels doivent être revus ». De même, la variable « temps alloué à la modélisation » est liée aux deux premières présentées et le manque de temps de modélisation a été un point abordé par la majorité des répondants. Le problème de manque de maturité des entreprises a été mis en lumière sur deux principaux points : le faible taux de connaissance et de compréhension des LOD ainsi que l'absence de document régissant le BIM à l'interne. Ensuite, la variable « objets numérique » reflète la troisième exigence commune des entrepreneurs spécialisés : « Le LOD devra varier entre 200, conception en développement, et 400, prêt pour la fabrication, suivant les objets et acteurs ». En effet ceci relate l'importance du type et de l'emplacement de l'objet sur les LOD en plus du manque de précision quant aux méthodes d'ajout d'information. Enfin, les « logiciels utilisés » sont image de deux difficultés relevées : « coût » et « difficultés logicielles ».

Cependant, même si un élargissement a été introduit dans le rapport industriel au travers de l'entrevue d'un entrepreneur général, d'un fournisseur et d'un ingénieur anciennement entrepreneur spécialisé, les conclusions portent principalement sur le point de vue des entrepreneurs spécialisés. Il présente donc un point de vue unilatéral des problèmes qui ont été en partie rejetés sur les autres parties prenantes. De plus, afin de couvrir une large gamme de spécialité en ayant un nombre d'entrevue raisonnable, peu d'entrepreneurs ont été rencontrés pour chaque discipline. Les résultats sont donc fortement dépendants des projets réalisés, des expériences de collaboration et de la maturité de ces entreprises. Ainsi, même si la phase

exploratoire du projet a permis de faire ressortir certains enjeux du BIM, non seulement pour les entrepreneurs spécialisés mais aussi au niveau de la collaboration entre les acteurs, il est nécessaire d'approfondir l'étude pour outrepasser les limites exposées. Les quatre principales parties prenantes des projets : l'architecte, l'ingénieur, l'entrepreneur général et l'entrepreneur spécialisé ont donc été rencontrés afin de répondre au problème d'unilatéralité des réponses précédentes. De plus, les répondants ayant une expertise bâtie sur plusieurs années et projet, leur analyse du BIM ne se limite pas à un point de vue biaisé par une faible expérience en matière de collaboration et d'utilisation de méthodes de travail des technologies.

3.2 Analyse des échanges d'information autour des maquettes numériques en MEP

Les discussions guidées par un protocole d'entrevue construit autour des paramètres issus de la phase exploratoire ont permis, tel que présentés dans la méthodologie, de faire ressortir dix-huit thèmes communs aux quatre participants regroupés suivant trois catégories. Les similitudes et les différences relevées constituent la base de l'analyse exposée dans cette section. Dans un premier temps les trois catégories ainsi que les thématiques associées sont explicitées. Puis un résumé des résultats par partie et leur analyse sont présentés. Enfin une synthèse et des recommandations concluent ce chapitre.

3.2.1 Présentation des thèmes d'analyse

Le Tableau 3.2 suivant représente les différents sujets abordés par les intervenants lors des entrevues. Ils sont regroupés en trois catégories : organisation, processus de gestion de l'information et processus de gestion de la maquette.

Tableau 3.2 Catégories et thématiques d'analyse de la seconde phase d'entrevues

Catégories	Organisation	Processus de gestion de l'information	Processus de gestion de la maquette
Points clés (adapté de Staub-French et al., 2011)	Structure et pratiques d'affaire Participants impliqués Entrée des participants Relation contractuelle Considérations légales	Planification de l'exécution du BIM Création d'informations Échange d'informations	Objectifs de modélisation Création de maquettes Contenu des maquettes Échanges de maquettes Technologie employée
Thématiques	Séquence de travail	Collaboration autour des maquettes	Qualité des maquettes reçues
	Implication dans le PGB	Temps de modélisation en amont	Objets modélisés
	PGB et entrepreneurs spécialisés	Connaissance des LOD	Maquettes pour la construction
	Mode de réalisation traditionnel vs relationnel	Évolution des LOD	Tels que construit
	Avancement de la modélisation en mode relationnel	Jusqu'où modéliser ?	Difficultés logicielles
	Communication lors de conflits	Comment améliorer la gestion de l'information ?	
	Responsabilité de la modélisation		

Les 18 thématiques ont été capturés in vivo dans les entrevues avec les répondants et identifiées à l'aide d'une synthèse des enregistrements et des notes d'entrevues. Les catégories traitent d'une part des problématiques concernant la mise en place du cadre de travail pour l'implantation du BIM et des relations entre les différentes parties prenantes; d'autre part les méthodes de création et de partage d'information ainsi que des outils employés à ces fins; et enfin le contenu des maquettes numériques, des logiciels employés et des activités de modélisation. Ces trois catégories sont comparables à celles proposées dans le cadre développé par Staub-French et al. (2011) pour analyser des projets BIM, tout en se différenciant par ses thématiques d'analyse.

La prochaine section de ce chapitre consiste en la présentation d'une synthèse des résultats par catégorie obtenue par croisement des données des quatre entrevues. Elle est suivie de leur analyse et d'une discussion sur les limites les points clés dégagés. L'ensemble des résultats est disponible en Annexe VII pour plus de précisions.

3.2.2 Organisation

La catégorie « organisation » touche aux problématiques concernant la mise en place du cadre de travail pour l'implantation du BIM, les interactions entre les différentes parties prenantes et leurs responsabilités. Elle regroupe sept thématiques :

- Séquence de travail;
- Implication dans le PGB;
- PGB et entrepreneurs spécialisés;
- Mode de réalisation traditionnel vs relationnel;
- Avancement de la modélisation en mode relationnel;
- Communication lors de conflits;
- Responsabilité de la modélisation.

L'organisation des projets BIM est modifiée par des pratiques collaboratives plus marquées et l'ajout d'un document à intégrer dans les processus de travail : la maquette numérique. La production de maquettes débute dès la conception, puis elles sont transmises aux entrepreneurs spécialisés par le biais de l'entrepreneur général. Afin d'en faciliter la gestion, de les insérer dans les documents du projet et de cadrer les processus d'échanges, un PGB est rédigé. Cependant, lors d'un projet de construction réalisé traditionnellement à l'intérieur d'un mode contractuel fragmenté tel que le DBB, le PGB est généralement produit par l'architecte ou le client et ne prend donc pas en compte les problématiques spécifiques que rencontrent les entrepreneurs généraux et spécialisés lors de la construction. De plus, les maquettes de conception sont généralement produites pour en extraire des plans 2D et accompagnés de devis qui prévalent au niveau contractuel, la transmission de maquette étant considérée par les professionnels comme une aide pour les entrepreneurs sans valeur contractuelle. Ceci altère la qualité des maquettes de conception rendues potentiellement inutilisables pour la construction et limite l'engagement des entrepreneurs dans l'utilisation des maquettes des professionnels qui préfèrent redessiner leurs propres maquettes à partir des plans et devis et occasionne donc du travail en double mais aussi dans une possible implication dans le PGB. Enfin, Si l'ingénieur et l'entrepreneur général peuvent dans certains cas analyser et amender ce document afin qu'il cadre mieux avec la réalité du projet, l'entrepreneur spécialisé, bien que sa contribution soit encouragée par l'entrepreneur général, entre trop tard dans le projet et ne dispose pas des ressources nécessaires (personnel, formation, temps) pour y participer. « *Le PGB est très complexe et très lourd à analyser, sur le dernier projet des personnes l'ont lu et se sont mises à paniquer.* » (Vice-président des opérations, entrepreneur spécialisé). Les recommandations et les instructions émises dans le PGB, notamment au niveau des LOD, peuvent donc ne pas correspondre à ses attentes et ses besoins.

Afin d'intégrer au plus tôt les entrepreneurs spécialisés au projet et de faciliter la communication, des modes contractuels intégrés tels que le *Design-Build* (DB) ou relationnels tels le *Integrated Project Delivery* (IPD), peuvent être utilisés à la place du mode traditionnel. Ce type de contrat vise à éliminer la frontière entre les concepteurs et les constructeurs, source d'incompréhensions et d'opportunités manquées. Cependant, il ne résout pas l'ensemble des

difficultés de communication, de confiance, de coopération et de collaboration. En effet, même si les entrepreneurs soulignent la facilité de communication et de collaboration par l'utilisation de ces modes contractuels, les concepteurs y perçoivent une augmentation de leur charge de travail par l'intégration d'autres parties prenantes à l'équipe dès la conception et une difficulté supplémentaire pour l'implémentation du BIM en raison d'un temps de préparation réduit. « *Le business ne marche pas de cette façon, je n'ai pas d'intérêt à avoir l'entrepreneur spécialisé avec moi au début.* » (Concepteur chargé de projet, ingénieur).

Une différence de points de vue entre entrepreneurs spécialisés et ingénieurs est remarquée au sujet de l'avancement de la modélisation dans ces types de contrats intégrés. L'entrepreneur spécialisé souhaiterait avoir accès aux maquettes plus tôt, contenant des objets plus précis, en affirmant que cela n'ajoute pas de travail aux ingénieurs s'agissant d'objets contenus dans des bibliothèques; tandis que ces derniers acceptent de partager leurs maquettes incomplètes contenant des objets de conception, avec des critères permettant aux entrepreneurs spécialisés de débiter leur modélisation plus tôt. Selon l'ingénieur, ceci peut se faire si les entrepreneurs spécialisés s'informent du LOD des objets contenus, fréquemment plus bas que leurs attentes, sans créer de conflits sur cet état d'avancement. « *L'entrepreneur veut juste plus de détails : plus de travail fait par l'ingénieur signifie moins à faire par l'entrepreneur. C'est surtout là qu'on s'accroche.* » (Concepteur chargé de projet, ingénieur). Afin de résoudre les conflits, l'entrepreneur général recommande de dépasser le cadre contractuel et d'instaurer un mode de communication direct entre les intervenants qui favoriserait la collaboration. Pour cela, il peut jouer un rôle de facilitateur entre les concepteurs et les entrepreneurs spécialisés en coordonnant et en adaptant les maquettes entre la conception et la construction. L'utilisation de moyens entrant dans le cadre légal, tel que les QRT, doit se limiter aux enjeux majeurs lorsque la discussion entre les acteurs concernés n'a pas apporté de solution.

Enfin, l'utilisation de maquettes numériques dans le cadre d'un projet BIM ne devrait pas changer les responsabilités des parties prenantes. Les entrepreneurs spécialisés ne peuvent demander trop d'efforts de modélisation aux concepteurs et doivent consulter les plans et les devis car il n'est pas encore envisagé de les délaisser. « *Il (l'entrepreneur spécialisé) doit*

regarder tous les autres documents et pas que la maquette transmise, les données sur les équipements doivent être ajoutées dans son modèle si elles ne se trouvent pas dans les objets dessinés par le concepteur. » (Directrice BIM, entrepreneur général). En contrepartie les concepteurs doivent atteindre un niveau de modélisation minimal incluant les informations relatives à leur expertise. En cas de mode contractuel intégré une entente doit être établie entre les acteurs et un climat de confiance instauré dépassant ce cadre. Pour procéder ainsi, l'ensemble des acteurs doivent avoir un certain niveau de connaissances et d'habiletés en BIM et entrer dans une dynamique de création de bénéfices communs en dépassant son propre intérêt. « Le projet n'a pas beaucoup fonctionné en BIM car les entrepreneurs spécialisés ne sont que très peu à avoir des connaissances et à utiliser le BIM » (Architecte); « Je suis d'accord pour laisser à l'entrepreneur spécialisé de la liberté mais il faut s'entendre car si je ne dessine pas un détail il va dire que je ne l'ai pas fait et il va le charger, il ne faut pas qu'il joue sur les deux côtés de la médaille sans quoi le BIM ne peut fonctionner. » (Concepteur chargé de projet, ingénieur).

La principale cause des difficultés exposées dans cette première partie réside dans le manque de maturité en BIM des acteurs de l'industrie de la construction. En effet, si les quatre répondants ont développé une expérience du BIM sur plusieurs années, ce n'est pas le cas de la majorité des entreprises du Québec. De plus l'emploi de contrat fragmentés de type DBB dans la majorité des projets renforce la frontière entre concepteurs et constructeurs. Ceci limite les échanges et conduit à des conflits qui pourraient être évités par une communication accrue entre les deux parties, tel que proposé dans les contrats intégrés (Winch, 2010). Les problèmes de collaboration et d'incompréhension poussant les répondants à pointer du doigt les autres parties prenantes pour leurs réticences et leurs erreurs, peuvent donc s'expliquer par ce manque de connaissances et de communications.

3.2.3 Processus de gestion de l'information

La catégorie « processus de gestion de l'information » traite des méthodes de collaboration, de création et de partage d'information ainsi que des outils employés à ces fins. Elle regroupe six thématiques :

- Collaboration autour des maquettes;
- Temps de modélisation en amont;
- Connaissance des LOD;
- Évolution des LOD;
- Jusqu'où modéliser ?
- Comment améliorer la gestion de l'information ?

L'utilisation de plateformes partagées pour collaborer autour des maquettes numériques est freinée par les pratiques de travail en silo ancrées dans le secteur, des différents sur la hiérarchie à respecter entre les acteurs et des désaccords sur les buts et la précision de modélisation à atteindre. Pour mitiger ces enjeux l'entrepreneur général suggère d'instaurer un climat de confiance entre toutes les parties prenantes et de s'informer des besoins de chacun au sujet de la modélisation. « *Il faut instaurer un esprit collaboratif car il ne faut pas perdre de vue la finalité du BIM qui permet de mieux travailler ensemble.* »; « *Les concepteurs et les entrepreneurs devraient travailler ensemble pour spécifier les informations qu'ils doivent ajouter à la maquette.* » (Directrice BIM, entrepreneur général). Son avis est partagé par l'entrepreneur spécialisé qui souhaite apporter ses compétences aux niveaux de la faisabilité, de la fabrication et de l'installation dès la production de la maquette de conception lorsque le mode contractuel le permet. Cette volonté est motivée par un problème récurrent de maquettes de conception produites par les ingénieurs et les architectes afin d'en extraire des plans, qui prévalent alors sur la maquette au niveau contractuel, et qui ne sont donc pas destinées à la construction. Les concepteurs interrogés ont également conscience de ce désalignement des objectifs de modélisation, source de manque à gagner, et ont conscience des bénéfices de l'intégration des connaissances des entrepreneurs dans les maquettes de conception pour le projet. Cependant, selon l'architecte, une certaine hiérarchie doit être respectée afin de ne pas

appauvrir la conception, de favoriser et de contrôler les échanges avec les entrepreneurs. *« Il faut que l'architecte reste aux commandes du projet car sinon les décisions vont aller vers une rationalisation, une simplification voire un appauvrissement de la proposition architecturale. » (Architecte).*

La mise en place de cette collaboration et de l'ensemble des processus BIM pourrait être facilitée par un temps de préparation supplémentaire accordé aux concepteurs et entrepreneurs par le client, ceci quel que soit le mode contractuel. Les entrepreneurs spécialisés souhaitent en bénéficier pour modéliser avant le début de la construction et les concepteurs pour la réflexion, les calculs et le paramétrage nécessaires au bon déroulement du projet BIM, avant le début de la modélisation. L'entrepreneur général rencontré ajoute ce temps supplémentaire à l'échéancier dans ses projets au niveau de la construction sous forme d'un plan de coordination et de modélisation. *« Il faut donner du temps aux entrepreneurs spécialisés, il y a plus de formation et de sensibilisation à faire de notre côté. » (Directrice BIM, entrepreneur général).* Cet ajout est perçu comme un investissement qui permet d'ancrer le BIM lors de la phase de construction.

Deux conflits de perspective sont visibles au sujet de la précision à laquelle la modélisation doit être poussée. Comme précédemment dans le cas particulier des contrats intégrés, les entrepreneurs spécialisés souhaitent recevoir des maquettes contenant des objets d'un LOD plus élevé en affirmant que cela ne requiert pas de travail supplémentaire pour l'ingénieur. D'un autre côté, l'ingénieur souhaite continuer à réutiliser ses objets de conception, prenant en compte les caractéristiques les plus pénalisantes, en affirmant que ce sera à l'entrepreneur de les préciser suivant les composants qui seront installés. Au sujet des détails techniques, l'ingénieur les ajoutent en référence et les précise dans les plans, ils ne sont pas intégrés dans la maquette car il s'agit pour lui d'une manipulation sans valeur ajoutée pour la conception. *« Il ne faut pas se plier à ce que l'entrepreneur veut. En cas de conflit on s'obstine, il va nous dire la maquette ne marche pas, mais à l'ingénierie ça n'a pas d'importance que les tuyaux d'un demi pouce soient installés avec des support. » (Concepteur chargé de projet, ingénieur).* Or, l'entrepreneur spécialisé souhaite que ces détails soient tous insérés dans la maquette car

ils peuvent avoir une grande influence y compris au niveau dimensionnel. Un compromis est alors à établir. Selon l'entrepreneur général une bonne solution consiste à développer la maquette de conception dans les endroits cruciaux, tels que les salles mécaniques, en laissant une certaine liberté aux entrepreneurs spécialisés pour les parties moins critiques. L'ingénieur et l'entrepreneur spécialisé doivent communiquer au sujet du LOD des objets insérés dans la maquette afin d'éviter les erreurs et les conflits.

Cependant, la compréhension des LOD n'est pas uniforme. En effet, la notion semble maîtrisée par l'entrepreneur général et l'ingénieur mais est ignorée et inutilisée par l'entrepreneur spécialisé, et est employée sous un terme différent chez l'architecte. Des substituts peuvent être utilisés et des consignes émises par les firmes les plus matures en BIM pour faciliter l'intégration de cette notion technique méconnue et incomprise pour la majeure partie de l'industrie. Un indice de cette incompréhension se reflète chez les firmes étudiées. Même si ces dernières sont considérées comme des leaders en BIM au Québec, l'évolution du LOD des maquettes en fonction des phases du projet, telle que précisée dans les matrices LOD utilisées dans les PGB, n'est suivie que par un des quatre répondants. L'ingénieur relève un désalignement entre ses besoins et ce que préconise ces matrices.

3.2.4 Processus de gestion de la maquette

La catégorie « processus de gestion de la maquette » regroupe les sujets de contenu des maquettes numériques, des logiciels employés et des activités de modélisation. Elle est constituée de cinq thématiques :

- Qualité des maquettes reçues;
- Objets modélisés;
- Maquettes pour la construction;
- Tels que construit;
- Difficultés logicielles.

Les avis des participants diffèrent sur la qualité et la précision des maquettes échangées. La principale divergence réside entre l'entrepreneur spécialisé et l'ingénieur qui ont des points de vue opposés. En effet, l'entrepreneur spécialisé aimerait recevoir des maquettes de conception coordonnées incluant les détails techniques et dans lesquelles les objets de construction standards sont à un LOD 400, ce qui, selon lui, ne nécessiterait pas de nombreux efforts supplémentaires de la part de l'ingénieur. *« Au niveau de la plomberie c'est facile car tout est standard et normalisé, il suffit d'intégrer les pièces de fabrication comme famille dans les maquettes. En ventilation chaque entreprise a ses standards mais finalement cela revient aux mêmes standards normalisés. » (Vice-président opérations, entrepreneur spécialisé).* L'ingénieur, lui, voit sa maquette comme une aide pour l'entrepreneur mais ne peut effectuer la fine coordination pour la construction, y ajouter les détails techniques et les objets pour la construction sans être rémunéré pour cela. *« Ce qu'on entend c'est que les soumissions rentrent presque 10% plus bas lorsqu'on a une maquette. Donc le client est gagnant, l'entrepreneur est également gagnant donc qu'ils paient et qu'ils fassent quelque chose pour aider à la cause. » (PDG, ingénieur).* Le rôle de l'entrepreneur général comme intermédiaire et facilitateur pour l'échange de maquette prend alors toute son importance. L'architecte semble répondre aux besoins des entrepreneurs en intégrant à sa maquette l'ensemble des objets et des informations permettant d'effectuer des estimations. Il n'est cependant pas impliqué dans les processus de collaboration avec les entrepreneurs. Encore une fois, les problèmes exposés dans ce sous-chapitre sont liés à un non-alignement des maturités BIM des intervenants sur un même projet et à un manque de connaissance des besoins des utilisateurs en aval. Lorsque le mode contractuel le permet, il est alors bénéfique d'encourager la discussion entre les participants du projet afin qu'ils puissent s'entendre sur les différents concepts et établir une ligne de conduite en prenant conscience du niveau de maturité BIM, des besoins et les méthodes de travail de chacun.

La gestion de la maquette est également impactée par les difficultés logicielles qui résident essentiellement dans le temps nécessaire à investir dans la création de famille, les limites de calculs des logiciels de modélisation, des problèmes d'interopérabilité et un frein à la créativité. *« Il ne faut pas que le logiciel nous empêche de faire ce que l'on veut faire, il ne faut pas être*

menotté. » (*Architecte*). De plus le coût élevé et le manque de support de la part des fournisseurs a été relevé et peut être un frein à l'adoption des logiciels, et donc du BIM, pour les petites et moyennes entreprises.

3.3 Analyse

Trois problèmes principaux sont à souligner dans l'analyse. Le premier est lié à la faible utilisation de contrats adaptés aux pratiques collaboratives préconisées par le BIM. La large utilisation de contrats de type DBB ne permet pas d'utiliser la maquette numérique comme document contractuel, ce qui annule une grande partie des bénéfices attendus avec une démarche BIM. Ceci conduit à un travail de re-modélisation et à la volonté de garder des responsabilités semblables à celle d'un contrat non BIM néfastes au déroulement du projet. Les entrepreneurs spécialisés ne prennent alors pas le risque de réutiliser des maquettes en sachant que ces dernières ne correspondent généralement pas à leurs attentes car construites pour en extraire des vues 2D. En effet, le souci d'emploi des bonnes familles, nomenclatures, quantités ou de l'insertion de détails non visibles dans les 2D essentiels à la phase de construction n'est pas respecté dans ce type de document.

Le deuxième problème concerne le déplacement de la charge de travail en amont. Même s'il a été prouvé que l'accomplissement de la majorité des tâches au plus tôt du projet apporte des bénéfices importants, des incompréhensions persistent à ce sujet. En effet, les concepteurs craignent de voir leur charge de travail fortement augmentée sans rémunération supplémentaire avec des retombées bénéfiques uniquement pour les entrepreneurs. De plus, cela dépend fortement du type de contrat utilisé. En DB les entrepreneurs spécialisés en MEP interprètent leur intervention en amont comme une chance d'obtenir des informations précises dès la conception alors que l'entrepreneur général aura tendance à les impliquer le plus tard possible pour réduire ses coûts, ce qui réduit considérablement les avantages de ce mode intégré. Ce n'est pas le cas en IPD, où les professionnels et les entrepreneurs spécialisés en MEP travaillent ensemble pour trouver les solutions offrant le meilleur rapport qualité/coût car dans cette formule, ces derniers obtenant une compensation financière s'ils réalisent le projet inférieur au

coût ciblé. De plus, il a été relevé que les clients sont réticents à investir dans du temps de préparation supplémentaire en amont, que ce soit pour planifier l'exécution du BIM du projet ou permettre aux architectes et ingénieurs de développer le concept, pour lequel l'avancement de l'ouvrage est difficilement mesurable. Il est alors important d'informer l'ensemble des acteurs des pratiques à mettre en place pour un déplacement efficace de l'effort en amont ainsi que des retombées globales au niveau du projet.

Enfin, le dernier problème est lié au manque de maturité BIM des entreprises de construction. Peu d'acteurs ont une expérience suffisante pour comprendre et intégrer les concepts (tel que les Usages BIM, le PGB ou les LOD) et les pratiques BIM dans leurs processus et dans les projets. Ceci entraîne les conflits qui ont été relevés lors des entrevues (explicités en Annexe VII). Les répondants étant généralement les parties prenantes les plus avancées en BIM dans leurs projets, la faute est rejetée sur les autres entreprises. Dans ce cas, il est difficile de trouver un accord au sujet du développement et de l'avancement de la modélisation. Encore une fois, pour pallier à ce problème, il est ici question de sensibiliser et former les entreprises montrant un intérêt pour le BIM afin de faciliter leur compréhension des points clés du BIM et leur inclusion dans les pratiques collaboratives.

3.4 Discussion

Les points soulevés dans la phase d'analyse des échanges d'information en MEP rejoignent deux des trois attentes communes à l'ensemble des entrepreneurs spécialisés rencontrés lors de la première phase exploratoire et consignées en Annexe I : « les maquettes des professionnels doivent devenir contractuelles et les modes contractuels doivent être revus » et « il doit y avoir une adaptation aux besoins en information des acteurs du projet ». En effet, la première attente est similaire au premier problème ci-dessus et la deuxième correspond au problème d'interprétation de l'intervention en amont des entrepreneurs spécialisés dans le projet. Enfin le manque de maturité est également indiqué dans le rapport destiné à l'industrie : seulement deux des neuf entrepreneurs rencontrés, dont huit ayant une expérience BIM, ont des connaissances théoriques poussées. Les trois problématiques sont donc redondantes

quelques soient les acteurs et un bon aperçu de leur maturité BIM, influençant leurs points de vue, est décelable lors d'une entrevue.

L'intégration du BIM dans les projets ne doit pas se limiter aux quatre corps de métiers répondants lors de cette étude. Même s'il s'agit des quatre acteurs principaux, un élargissement du donneur d'ouvrage jusqu'au fournisseur permettrait de cerner des problématiques qui ont pu être passées sous silence dans cette étude et pousser les bénéfices du BIM jusqu'au bout de la chaîne d'approvisionnement. En effet, au niveau du client, l'utilisation des TQC est encore méconnue alors qu'ils sont présentés comme un moyen permettant de faire d'importantes économies pour la gestion des ouvrages. Pour en bénéficier, les entrepreneurs spécialisés doivent enrichir la maquette jusqu'à un LOD 500 et être en mesure de préciser dans les contrats les requis d'information relatifs à ce niveau de développement. Cependant, peu d'entrepreneurs ont le niveau de maturité suffisant pour définir des exigences quant aux LOD et les clients n'ont pas la maturité nécessaire pour être en mesure de profiter des bénéfices des TQC dans la gestion de leurs actifs. Enfin, même si des entreprises impliquées dans la transition vers le BIM pousse tout de même vers l'utilisation des TQC, l'absence de leur exigence par les clients renvoie l'image à l'industrie d'un travail supplémentaire de modélisation inutile. De plus, l'interrogation d'un fournisseur lors de la phase exploratoire expose deux problèmes dont n'ont pas consciences les autres intervenants : les demandes liées au BIM ne sont jamais relayées jusqu'au fournisseur ne pouvant alors ni y apporter leur expertise, ni profiter des bénéfices et; par des pratiques collaboratives, les fournisseurs pourraient conseiller et proposer des produits optimisés pour l'ouvrage au lieu de fournir des produits au coût de production le plus bas.

Ce projet, par sa vocation exploratoire, soulève des interrogations, des problématiques et met en avant des besoins d'une variété d'acteurs de l'industrie. Il est nécessaire de poursuivre la recherche dans cet axe afin de combler les lacunes révélées par ce mémoire, d'identifier des solutions et de renseigner les points clés encore non documentés.

CONCLUSION

Si le BIM s'avère un moyen efficace de pallier aux difficultés de la construction, des zones d'ombres sur ses différents concepts persistent. Le processus d'établissement des LOD est remis en question dans le premier volet de la recherche. En effet, de nombreuses incompréhensions subsistent pour leur définition et leur interprétation. De plus, les besoins des utilisateurs finaux, les entrepreneurs spécialisés, ne sont pas pris en compte alors que les difficultés tardives survenant lors de la construction, entraînent les impacts négatifs les plus importants sur la qualité, les coûts et les délais. Dans ce contexte, l'objectif principal de ce projet est de définir les requis des entrepreneurs spécialisés pour le contenu des maquettes numériques fournies par les concepteurs. Dès lors, une approche en deux temps a été adoptée afin d'éliminer dès la phase de planification, les problèmes liés aux informations contenues ou absentes des maquettes numériques.

Premièrement, lors d'une phase exploratoire, des entrevues semi-dirigées menées auprès des entrepreneurs spécialisés ont permis de prendre connaissance des outils, des méthodes d'application du BIM, des difficultés rencontrées et des attentes de changement pour la gestion du BIM. Ces données ont également pour vocation de préciser le problème et de démontrer le besoin d'intervention. Leur analyse est intégrée dans la principale contribution de projet : un rapport adressé à l'industrie qui permet de diffuser ce constat aux professionnels et aux donneurs d'ouvrages. L'implication des entreprises interrogées jusqu'à la production du rapport et la supervision de la rédaction par un membre de l'entreprise partenaire assurent une validation de cette première phase tant pour la complétude des informations recueillies chez les entrepreneurs pour la portée du rapport désiré par la CEGQ. Ainsi, en accord avec la littérature et les besoins actuels de l'industrie, ce rapport préconise qu'il devrait y avoir une collaboration entre tous les acteurs du projet dès la phase de planification des exigences BIM. Un ajustement du transfert d'informations en fonction du destinataire ne peut avoir que des conséquences bénéfiques pour le projet.

Dans un deuxième temps, un ensemble de variables ayant a priori une influence sur la mise en place des LOD par une prise en compte des besoins des entrepreneurs spécialisés a été identifié. Ainsi, une deuxième série d'entrevue, sur des thèmes identifiés comme problématiques au préalable, a été menée auprès de la chaîne des acteurs impliqués en MEP : l'architecte, l'ingénieur, l'entrepreneur général et l'entrepreneur spécialisé. Les données recueillies ont permis de mettre en évidence les principaux enjeux auxquels sont confrontés les acteurs de cette discipline aussi bien au niveau des concepts, des produits que des interactions. Ceux-ci résident essentiellement dans un problème d'alignement de maturités BIM entre les parties prenantes des projets, une méconnaissance et une mauvaise utilisation des LOD, des contrats inadaptés, des difficultés de communication et une ignorance des besoins des collaborateurs conduisant à la définition de protocoles non adaptés dans le PGB.

Les deux phases de la recherche ont pour principale limite la taille réduite de l'échantillon. Cependant très peu d'entreprises font preuve d'une maturité BIM suffisante pour discuter de paramètres identifiés liés à des termes tel que le PGB ou le LOD. Les résultats obtenus donnent donc une image représentative des pratiques et des enjeux auxquels font face quatre des entreprises parmi les plus avancés en la matière dans leur domaine au Québec. Ce sont leurs points de vue qui sont à prendre en compte pour établir les lignes directrices afin d'implanter plus largement le BIM dans l'industrie.

Finalement, ce projet ouvre plusieurs pistes de recherche. Il serait bénéfique de comprendre précisément les mécanismes de rédaction des PGB afin de pouvoir cerner ses faiblesses et intervenir dans le but de résoudre dès la planification les problèmes soulevés dans ce mémoire. De plus, la démarche employée pour la MEP pourrait être étendue à l'ensemble des disciplines pour intégrer les besoins de toute la chaîne d'approvisionnement au PGB. Enfin, les études joignant le BIM et les constructeurs doivent être encouragées car la prise en compte des informations à leurs niveaux renferme la plus grande marge de progression pour l'industrie de la construction.

ClicCours.com

ANNEXE I

**RAPPORT : ÉVALUATION DU NIVEAU DE DÉVELOPPEMENT DES
MAQUETTES NUMÉRIQUES DU BIM POUR LES SOUS-TRAITANTS DE LA
CONSTRUCTION AU QUÉBEC**

Évaluation du niveau de développement des maquettes numériques du BIM pour les sous-traitants de la construction au Québec

Contexte et Résultats

GRIDD

Groupe de recherche
en intégration et développement durable
en environnement bâti



**CORPORATION DES
ENTREPRENEURS
GÉNÉRAUX DU
QUÉBEC**

Octobre 2017

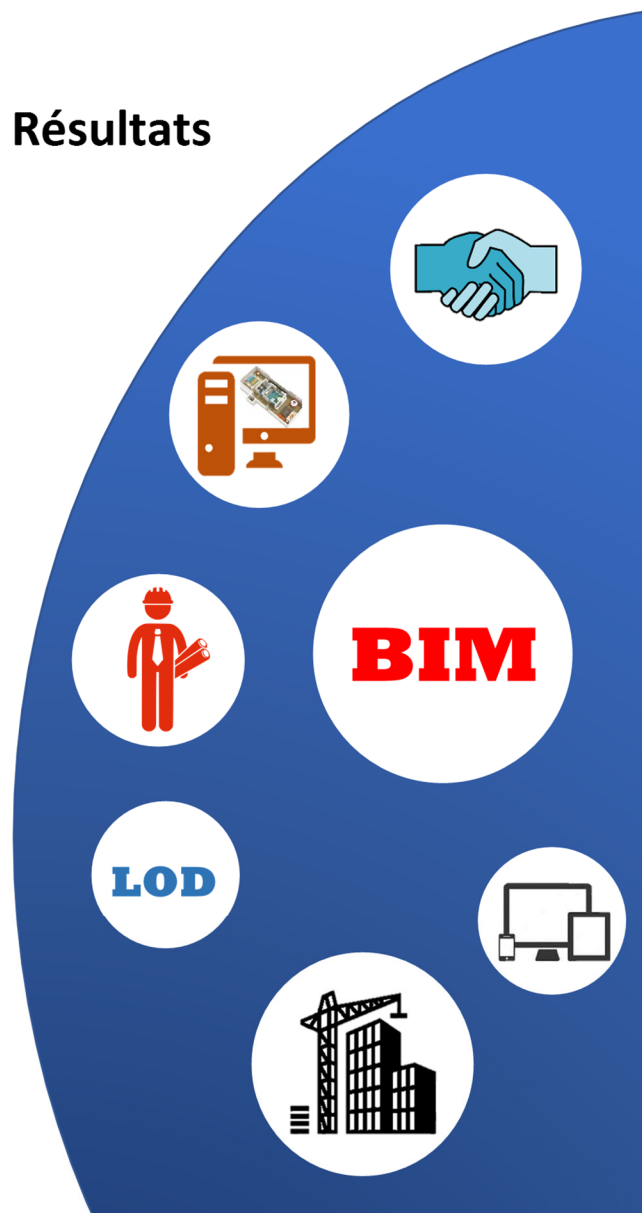


Table des matières

REMERCIEMENTS	III
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	IV
RÉSUMÉ	V
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 ÉTAT DE L'ART	3
DU TRAVAIL EN SILO AU BIM	3
Le travail en silo	3
La communication entre les logiciels	3
Le BIM, un catalyseur pour la collaboration et la communication	6
LE PLAN DE GESTION BIM (PGB).....	8
Un besoin de planifier et standardiser	8
Vue d'ensemble du PGB.....	9
Les échanges de données cadrés par les LOD.....	10
CHAPITRE 2 MÉTHODE DE COLLECTE DES DONNÉES	14
CONTENU DU QUESTIONNAIRE	14
ENTREPRISES RENCONTRÉES.....	14
CHAPITRE 3 SYNTHÈSE ET ANALYSE	16
ENTREPRENEURS SPÉCIALISÉS	16
Portrait des entreprises	16
Connaissances théoriques	17
Enjeux principaux.....	18
Attentes	18
D'AUTRES ACTEURS DE L'ENVIRONNEMENT DU PROJET	23
Présentation des entreprises	23
Avantages et enjeux.....	23
Perspectives	24
CONCLUSION	26
BIBLIOGRAPHIE	27
ANNEXE 1 RÉSULTATS DES ENTREVUES	I
ENTREPRENEURS SPÉCIALISÉS EN ÉLECTRICITÉ.....	I
ENTREPRENEUR SPÉCIALISÉ EN STRUCTURES MÉTALLIQUES	VII
ENTREPRENEUR SPÉCIALISÉ EN MURS-RIDEAUX VITRÉS, FENÊTRATIONS ET VITRERIES	XI
ENTREPRENEURS SPÉCIALISÉS EN MÉCANIQUE DU BÂTIMENT.....	XIII
FIRME D'INGÉNIEURS EN MÉCANIQUE DU BÂTIMENT, DÉPARTEMENT PROTECTION INCENDIE.....	XXIII
ENTREPRENEUR GÉNÉRAL.....	XXVI
FOURNISSEUR DE BÉTON	XXVIII

Rédigé par :

Valentin Marchioni,
étudiant à la maîtrise, ÉTS

Tuteur académique :

Daniel Forgues, professeur en
génie de la construction, ÉTS

Tuteur industriel :

Luc Martin, vice-président exécutif de
la CEGQ jusqu'au 2 Juin 2017

Remerciements

L'équipe de recherche du GRIDD tient à remercier l'organisme Mitacs Accélération ainsi que la Corporation des Entrepreneurs Généraux du Québec (CEGQ) pour le soutien financier apporté à ce projet.

L'équipe, remercie également les entreprises ayant donné de leur temps pour cette étude, ainsi que toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce projet par leurs conseils, leurs contacts et leurs informations.

Liste des abréviations, sigles et acronymes

BIM : acronyme anglais pour *Building Information Modeling* utilisé couramment pour désigner la modélisation des données du bâtiment.

CEGQ : Corporation des Entrepreneurs Généraux du Québec, organisme mandataire du projet et participant au financement.

CMEQ : Corporation des Maîtres électriciens du Québec, corporation ayant organisé les rencontres avec les entrepreneurs spécialisés en électricité.

DB : acronyme anglais pour *Design Build*, utilisé couramment pour désigner les projets réalisés suivant le modèle conception-construction

DBB : acronyme anglais pour *Design Bid Build*, utilisé couramment pour désigner les projets réalisés suivant un processus classique d'appel d'offres.

GRIDD : Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable en milieu bâti, équipe de recherche du projet.

LOD : acronyme anglais pour *Level of Development* utilisé couramment pour désigner le niveau de développement des objets numériques des maquettes du BIM. Ce concept se divise en deux notions : le niveau de détail (LOd) qui désigne le contenu graphique, ou visible, de ces objets ; et le niveau d'information (LOI), qui décrit le contenu non-graphique, c'est à dire les informations attachées, de ceux-ci.

PGB : Plan de Gestion BIM, notion réalisée dans un chapitre consacré en page

PPP : acronyme anglais pour *Private-Public Partnership*, utilisé couramment pour désigner les projets réalisés suivant un modèle de partenariat public-privé.

TQC : Tel Que Construit, ou Tel Que Conçu, désigne le niveau de précision d'une maquette numérique qui représente la réalité telle qu'elle a été construite, ou conçue.

Résumé

Les méthodes de travail et les technologies du BIM, dont les bénéfices ont été prouvés sur de nombreux projets, sont employées dans un nombre grandissant d'entreprises. La transformation de l'industrie, amorcée par une bonne compréhension de ces avantages par des firmes de concepteurs et d'entrepreneurs généraux, a conduit à une emphase de la recherche sur la conception et la gestion générale des chantiers.

Cependant très peu de recherches sont menées au niveau de l'implémentation et des besoins conséquents au BIM chez les entrepreneurs spécialisés bien qu'ils interviennent lors de la phase la plus critique des projets : la construction. Leur besoin informationnel est donc méconnu et conduit à des échanges inefficaces. En effet, de nombreux ordres de changements, extras et incompréhensions sont en partie dus à un manque de collaboration et de communication avec les destinataires de ces informations, c'est-à-dire les entrepreneurs.

Pour pallier à ce problème, ce projet a pour objectif d'identifier les attentes des entrepreneurs spécialisés québécois au niveau des informations transmises via les maquettes numériques dans des projets comportant des exigences BIM. La nature et la précision de ces informations étant quantifiées au Canada par les LOD, ce concept est développé et utilisé dans ce projet. Ce rapport a alors pour but de faire remonter les besoins des entrepreneurs jusqu'aux concepteurs et donneurs d'ouvrages, afin qu'ils établissent des exigences adaptées.

Afin de recueillir ces données, des entrevues auprès de douze entreprises ont été conduites. Leurs principales attentes sont :

- Les maquettes des professionnels doivent devenir contractuelles et les modes contractuels doivent être revus ;
- Il doit y avoir une adaptation aux besoins en information des acteurs du projet ;
- Le LOD devra varier entre 200, conception en développement, et 400, prêt pour la fabrication, suivant les objets et acteurs.

Ces entrevues ont également permis de mettre en lumière les avantages, les pratiques, les enjeux et les connaissances du BIM chez ces entreprises.

Introduction

L'utilisation grandissante et les bénéfices potentiels de la modélisation des données de bâtiment, définie usuellement par l'acronyme anglais BIM pour *Building Information Modeling*, poussent les acteurs du secteur de la construction à implémenter cet ensemble de technologies, de processus, et de méthodes organisationnelles dans leurs entreprises. L'adoption du BIM pour l'industrie de la construction aux États-Unis a connu une forte croissance ces dernières années. En effet, on a enregistré une hausse d'adoption au niveau de l'industrie de 28%, en 2007, à 71%, en 2012, et plus de 74% pour les entrepreneurs (Bernstein & Jones, 2012). Au Québec, même si le taux d'adoption du BIM reste faible avec seulement 31% en 2015, l'utilisation du BIM tend à se généraliser à l'ensemble de l'industrie avec un virage amorcé en 2010 et un taux élevé de satisfaction de 68% après implémentation (Tahrani, Forgues, & Poirier, 2015). Ce secteur, composé de nombreuses petites et moyennes entreprises et représentant près de 12% du PIB pour la province du Québec (Commission de la construction du Québec, 2017), les enjeux liés à l'adoption d'un changement de méthodes de travail se doivent d'être maîtrisés pour en tirer les meilleurs bénéfices.

Afin de bien définir les objectifs et les obligations liés à l'utilisation du BIM, des documents spécifiques doivent être établis. Ils ont pour rôle de préciser les éléments essentiels au travail collaboratif autour des maquettes numériques, non pris en compte dans les méthodes contractuelles traditionnelles. Ils permettent entre autres de préciser les propriétés intellectuelles des parties prenantes, la confidentialité des informations et la fiabilité du contenu des maquettes numériques, qualifiés en Amérique du Nord par les niveaux de développement (LOD). Lors de la définition des exigences pour l'utilisation du BIM, les LOD représentent le cœur des spécifications pour l'évolution du modèle, document aidant les intervenants à définir la portée du BIM et les responsabilités pour le développement de certains éléments à un niveau de détail donné, avec une échelle définissant les besoins pour une conception schématique (LOD niveau 100), jusqu'aux requis pour fournir une maquette tel que construit (LOD niveau 500). Les LOD sont dans ce cas utilisés pour deux objectifs : la définition des résultats attendus par phase de projet afin d'établir comment l'évolution de la conception sera traduite par l'évolution des LOD et à quel rythme ; et l'assignation des tâches de modélisation avec notamment l'ajout d'informations liées aux éléments du modèle, fournies par différents acteurs du projet, en plus de l'affinement de la géométrie. (Bedrick, 2008)

Si les requis des concepteurs et entrepreneurs généraux sont aujourd'hui mieux connus et définis pour l'établissement des contrats, très peu de recherches sont menées au sujet des besoins des entrepreneurs spécialisés alors que ce sont ces derniers qui réalisent la construction. Le lien entre le contenu des maquettes numériques et les opportunités associées pour ces entrepreneurs, en regard de leur multiplicité et de leurs capacités, est encore méconnu. En ajoutant à cela le manque d'expérience de l'industrie dans ce domaine, la tendance à pousser l'information ainsi que de la dichotomie entre la conception et la construction, les maquettes se retrouvent paradoxalement surchargées ou présentent des lacunes, et un manque de cohérence de ces modèles est ainsi relevé.

Il existe donc un besoin de définir quelles sont les conditions à réunir pour que les maquettes de conception puissent être réutilisées par les entrepreneurs spécialisés, et comment elles doivent être mises à jour pour la fabrication et pour la livraison des Tels que construits.

On cherchera alors à répondre à la question suivante : Quels sont les besoins des entrepreneurs spécialisés, en termes de contenu des maquettes numériques, pour améliorer les processus liés au BIM lors de la communication entre les différents acteurs et l'exploitations des maquettes pour la réalisation de la construction ?

L'objectif principal de ce projet est de définir les requis des entrepreneurs spécialisés pour le contenu des maquettes numériques fournies par les concepteurs. Suite à une mise en contexte par une présentation des principaux concepts liés aux maquettes numériques du BIM, ce rapport a pour but de présenter les pratiques, attentes, avantages et enjeux relevés auprès d'entrepreneurs spécialisés québécois utilisant ces dernières dans leurs projets. Ce rapport sera détaillé de manière à répondre aux sous-questions suivantes :

- Pourquoi échanger des données et quels sont les différents types de logiciels ?
- Qu'est-ce que le BIM ?
- Quel sont les rôles du gestionnaire et du coordinateur BIM ?
- Qu'est-ce que le plan de gestion BIM et comment cadre-t-il l'évolution des maquettes ?
- Quelle est la perception des entrepreneurs spécialisé québécois du BIM ?

Ce rapport s'articulera donc autour de chapitre traitant de ces problématiques secondaires. Dans un premier temps, via une revue de littérature, on présentera un bref historique de l'évolution des pratiques et logiciels ayant conduit à l'arrivée du BIM, et, au besoin conséquent de gérer cette nouvelle approche de la construction par un plan de gestion BIM (PGB). Dans un deuxième temps, on présentera la méthodologie de recherche employée. On procèdera par la suite à la présentation des résultats d'une série d'entrevues semi-dirigées menées dans le but de relever les besoins et perceptions actuels des entrepreneurs spécialisés au Québec, et plus particulièrement dans la région du Grand Montréal.

CHAPITRE 1

ÉTAT DE L'ART

Du travail en silo au BIM

Le travail en silo

Historiquement, le modèle de travail dans l'industrie de la construction pousse au travail en silo avec de nombreux obstacles à la collaboration liés à la nature même de l'industrie composée d'une multitude de petites entreprises spécialisées dont la sélection pour un projet est basée sur le prix le plus bas. Les contraintes principales, entre autre liées au caractère éphémère des projets, avec des interactions en moyenne d'une dizaine de mois (Brousseau & Rallet, 1995), limitent le partage et la collaboration entre les parties prenantes. En effet, n'étant que temporairement impliqué et ayant des marges de profits minces, les intervenants priorisent et optimisent les produits de leurs propres disciplines aux dépends de la valeur globale du projet. De plus la nature informelle des relations ancrées dans le secteur complexifie le suivi par la maîtrise d'ouvrage. Enfin, les aléas, qu'ils soient externes comme les conditions climatiques, ou internes, comme les ordres de changement, éloignent les entreprises du respect de délais serrés. La collaboration entre les intervenants souffre de cette course contre la montre. (González, González, Molenaar, & Orozco, 2014).

Afin de faciliter et d'améliorer la qualité des documents de planification et de fabrication des entrepreneurs ainsi que les calculs, plans et devis fournis par les professionnels, des outils informatiques ont été développés. Ces derniers, comme les logiciels de gestion, de calculs ou les modeleurs géométriques permettant de dessiner d'abord en 2D, puis en 3D les éléments utiles à chaque discipline, restaient cependant basés sur un mode de travail en silo ne se souciant ainsi pas d'un possible échange de données entre logiciels.

Par exemple, pour un projet de bâtiment réalisé dans les années 90, la maîtrise d'ouvrage pouvait agrémenter son appel d'offre de plan et esquisses 3D (Poyet, 1993). Sur la base de ces documents, les ingénieurs entraient manuellement les données nécessaires dans des logiciels spécifiques à chaque discipline avant de pouvoir obtenir des résultats. Les entrepreneurs, durant la construction, qui reste une phase relativement à part de la phase de conception, employaient des logiciels de pilotage incompatibles entre eux. De plus, les firmes effectuant les contrôles avaient également leurs logiciels, semblables à ceux des concepteurs, mais sans possibilité d'échange de données entre les deux parties. Les seuls échanges informatiques possibles se faisaient par des plans DXF entre les architectes et les ingénieurs avec une nécessité de tout de même ressaisir l'information attachée manuellement (Poyet, 1993). Les pertes de temps occasionnées sont grandes et l'interopérabilité devenait ainsi la prochaine étape pour améliorer l'efficacité de l'industrie.

La communication entre les logiciels

Le besoin d'interopérabilité

Le concept d'interopérabilité, ou la capacité des systèmes à échanger des données compréhensibles et exploitables entre eux, même si ceux-ci ne sont pas conçus dans le même but d'utilisation, est un enjeu de taille pour l'amélioration de la productivité de l'industrie de la construction.

Une étude du *National Institute of Standards and Technology* (2004) classifiait les pertes dues au manque d'interopérabilité en trois catégories. La première quantifie celles dues aux systèmes informatiques redondants et aux processus associés alors inefficaces, la deuxième inclue les ressaisies manuelles et les demandes d'informations liées à l'absence d'échanges de données exploitables, la troisième à la perte de productivité conséquente des employés. Ce même rapport démontre que le manque d'interopérabilité occasionne une perte de 15.8 Milliards de dollars (US) dont 6.8 directement liés aux activités de construction et 2.2 milliards supportés par les entrepreneurs spécialisés pour les grands projets commerciaux, institutionnels et industriels aux États-Unis cette même année. (Coleman & Jun, 2004)

Malgré la certaine évolution des technologies, et une progression des normes favorisant l'interopérabilité avec notamment la mise en place de standards d'échanges ouverts comme les IFC, une étude réalisée en 2007 démontre qu'une même information est rentrée 7 fois au cours d'un projet de construction (Forgues, Tahrani, & Frenette, 2014).

En regard de cela, les améliorations technologiques centrées au niveau métier, sans possibilité de partage de données, sont dépassées vis-à-vis des bénéfices à tirer des échanges de données et de la collaboration entre tous les corps de métiers.

En effet, un logiciel unique répondant aux besoins de tous étant irréaliste, une communication intelligente entre les différents types de logiciels utilisés s'avère être la direction prise par l'industrie.

Les solutions logicielles du BIM

En 2011, l'Institut du BIM au Canada (IBC) classifiait les outils informatiques du BIM en trois catégories : conception et planning, construction, et opération (Institute for BIM in Canada, 2011). Cependant, une vision globale des logiciels disponibles au niveau de la conception et de la construction proposée par BIM Forum (2011), ainsi qu'une classification du BIM en usages par Kreider et Messner (2013) permettent de proposer une répartition alternative. Cette répartition respecte le lien entre les applications des logiciels et les objectifs auxquels sont rattachés les usages BIM.

Un usage est une méthode d'application du BIM permettant d'atteindre un ou plusieurs buts spécifiques et ce, quelle que soit la phase du projet (Kreider & Messner, 2013). 25 usages, tels que l'estimation des coûts, la modélisation de l'existant, l'analyse structurelle, la coordination 3D, ou la fabrication numérique ont été déterminés et sont regroupés suivant cinq objectifs principaux : rassembler, générer, analyser, communiquer et réaliser. Leur détermination facilite la mise en place de l'infrastructure du projet, notamment la partie informatique, ainsi que définition des livrables, supportés par les solutions logicielles du BIM (Kreider & Messner, 2013).

L'objectif *rassembler* est employé dans le sens de collecter, quantifier et effectuer un suivi des informations du projet (Kreider & Messner, 2013). Pour ce faire, des moyens technologiques tels que les scan laser ou les drones couplés à des logiciels de traitement de données permettent d'acquérir de l'information sur l'environnement du projet pour la conception, ou de mesurer son avancement durant la construction. De plus, des logiciels de relevé de quantités peuvent être utilisés directement à partir des maquettes et fournissent des données utiles à l'estimation des coûts et à la mise en œuvre d'un échéancier.

À partir de la demande du client et des informations de terrain, les concepteurs amorcent la phase de *génération* des données avec la modélisation, le paramétrage et les premiers dimensionnements d'un concept préliminaire. Les entrepreneurs, et principalement les entrepreneurs spécialisés, complèteront ce modèle et créeront le plus grand volume d'information. Les logiciels de modélisation sont utilisés à ces fins. Ils permettent de générer et agencer des objets numériques dans un environnement 3D en y ajoutant les paramètres et les informations nécessaires aux analyses sans pour autant effectuer ces dernières. Ces logiciels permettent une exportation au travers de différents formats d'échanges et sont utilisés afin de produire, modifier et contrôler le ou les modèle(s) qui serviront de support pour les autres systèmes. Ils permettent alors de limiter le besoin de redessiner et de ressaisir de l'information.

Les logiciels présentés précédemment ne mettent cependant pas de limites physiques au concept. Dans le but de l'*analyser*, des transferts vers des modules d'extension, ou, pour des calculs plus poussés, vers des logiciels d'analyse spécialisés, sont effectués pour dimensionner et affiner les choix techniques du projet. Le respect du cahier des charges, des codes et des standards de construction est ainsi assuré par des études menées via ces types de solutions informatiques. Ces dernières sont généralement utilisées pour des analyses des systèmes mécaniques et structuraux, des performances énergétiques et thermiques, d'impacts environnementaux, ou encore pour optimiser des caractéristiques telles que l'acoustique ou la luminosité naturelle dans les bâtiments. Par la suite, le modèle est retravaillé dans un logiciel de modélisation, afin de l'ajuster en fonction des résultats obtenus.

Cette partie d'*analyse* comprend également l'étude de scénarios alternatifs, des coûts, ainsi que la coordination et planification. Pour cela, les modèles sont confrontés pour des détections d'interférences, des simulations 4D (intégrant l'échéancier) ou ND (logistique, environnement, etc...) et sont utilisés afin d'optimiser la phase de construction et résoudre la plupart des problèmes avant même le début du chantier.

Les modèles et informations produits, qu'ils proviennent de la phase de conception ou de construction, sont alors partagés au travers de plateformes de collaboration centralisant les données du projet. Il s'agit ici des usages dont l'objectif principal est de *communiquer*, que l'on peut détailler en visualiser, représenter, convertir et documenter (Kreider & Messner, 2013). Ces plateformes peuvent être basées sur des technologies infonuagiques, portail web, sites ftp, ou serveurs locaux. Elles permettent de faciliter la communication notamment lorsque des modules de détections d'interférence, d'annotations de plans et modèles, et de messagerie sont disponibles. Il est alors possible de communiquer directement au travers de ces plateformes avec un support visuel qui permet une meilleure compréhension globale du projet facilitant ainsi la collaboration.

Enfin, des logiciels de réalisation de dessins d'atelier, ou plus généralement permettant de convertir les fichiers dans un format permettant la fabrication, sont utilisés dans le but de produire et préfabriquer directement à partir de la maquette. On peut inscrire ceux-ci dans l'objectif de *réalisation*, au même titre que les logiciels de contrôle et pilotage offrant entre autres la possibilité d'assurer la logistique de chantier.

Tout l'enjeu pour l'amélioration de la productivité réside dans la qualité des échanges de données entre les différents types de logiciels et les différentes parties prenantes. La collaboration par l'utilisation de modèles contenant des informations exploitables par tous est au cœur de l'approche BIM.

Le BIM, un catalyseur pour la collaboration et la communication

Vue d'ensemble

Le BIM, qui encourage la communication et la collaboration grâce à l'utilisation de modèles partagés sur une plateforme unique, permet de répondre au besoin d'interopérabilité et au nombre grandissant de données.

Il existe cependant certaines confusions dues à l'évolution des termes utilisés. Le *National BIM Standard* (NBIMS) définissait le BIM par *Building Information Model* comme « une représentation digitale des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un ouvrage. Comme tel, il sert de ressource partagée de savoir pour toutes les informations au sujet de l'ouvrage, formant ainsi une base fiable pour la prise de décision durant son cycle de vie, dès sa conception » (NBIMS, 2007, page 21, traduction libre).

Or, le BIM ne se limite pas à la création de modèles 3D intelligents : c'est un ensemble basé sur des changements technologiques, organisationnels et procéduraux, lesquels sont mis en place pour accélérer et fiabiliser les échanges d'informations entre les acteurs autour de ce modèle. En effet, Eastman, Eastman, Teicholz, et Sacks (2011), qualifient le BIM de nouvelle approche de la construction dans laquelle un modèle numérique est utilisé dans le but de faciliter les échanges d'informations et comportant d'importants changements de processus et de pratiques dans l'industrie de la construction. C'est alors en tenant compte de ses trois dimensions : la technologie, l'organisation et les processus, que l'adoption du BIM en tant que *Building Information Modeling* se doit d'être faite afin d'en maximiser les bénéfices.

Le document BIM Best Practice (Staub-French et al., 2011) propose un ensemble de points clés à considérer afin de maximiser les bénéfices de l'implémentation et le travail en BIM autour des trois dimensions discutées.

L'utilisation de solutions informatiques permettant de générer, organiser, partager et stocker de l'information, est à la base du volet technologique. L'étude démontre qu'il est plus efficace pour le client de définir un ensemble d'exigences claires pour l'application du BIM que d'imposer une gamme de logiciels. En effet, ces exigences, une fois traduites en usages BIM, se verront liées à des tâches, elles-mêmes associées à une technologie adaptée. Pour le choix de ces technologies, il est également important de prendre en compte ce qui sera à souligner lors de la modélisation, c'est-à-dire pouvant causer des problèmes sur chantier, en considérant le destinataire du modèle.

C'est au niveau organisationnel que le BIM est considéré comme une innovation de rupture. En pratique, le BIM pousse à une modification radicale des configurations traditionnelles d'entreprise, soit une structure hiérarchisée et organisée par lot, pour une structure d'entreprise horizontale, cassant ainsi le mode de travail en silo (Forgues, Staub-French, Tahrani, & Poirier, 2014). De plus, à l'échelle

du projet, la structure de gestion de la construction doit être repensée avec une implication au plus tôt de toutes les parties prenantes, en s'assurant qu'elles possèdent un niveau de maturité suffisant en BIM tout en favorisant la collaboration. Comme précédemment il faut bien établir à qui les tâches de modélisation seront affectées. Les personnes en ayant la charge devront modéliser en gardant à l'esprit les pratiques de l'utilisateur final afin d'apporter une valeur ajoutée conséquente (Staub-French et al., 2011).

L'aspect processus qui permet de définir les rôles, les responsabilités, les modes de coordination, et les processus de travail ainsi que les objectifs à atteindre, est basé sur l'établissement du plan de gestion BIM qui sera présenté dans le prochain sous-chapitre de ce rapport. De plus, les changements provoqués à ces trois niveaux ont conduit à l'émergence de nouveaux rôles dans les projets, dont les deux principaux sont le gestionnaire et le coordinateur BIM.

Impacts du BIM sur les rôles et responsabilités

Rôle du gestionnaire BIM

Le rôle principal du gestionnaire BIM, qui peut être une seule, ou une équipe de personnes, est de guider l'ensemble de l'équipe dans l'implémentation et les prises de décisions en ce qui concerne le BIM pour le projet (Barison & Santos, 2010). Il gère alors les rencontres BIM, vérifie la qualité de la modélisation ou contribue à la coordination des maquettes numériques du projet (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011)

Le gestionnaire BIM a également un rôle d'intégration et de promotion au niveau de l'équipe de projet et du client. En effet, il doit favoriser l'intégration du client pour cadrer au mieux avec ses attentes au niveau du BIM et faciliter la perception des retombées de cette nouvelle approche en regard d'un projet qui sera réalisé (Ben Hassine, Collot, Dionne, Frenette, & Sert, 2014)

Enfin, il est responsable de la coordination de l'équipe BIM ainsi que la gestion de la production des maquettes numériques et des usages associés. Pour cela, c'est un acteur important dans le développement du PGB mais aussi des différents supports techniques comme les gabarits, les accès aux plateformes de collaboration ou les intégrations des maquettes numériques (Barison & Santos, 2010)

Rôle du coordinateur BIM

Un coordinateur BIM est désigné pour chaque entreprise. Son rôle est de mobiliser et de former son équipe pour atteindre les objectifs fixés au niveau du BIM. Il gère également l'adoption et l'utilisation des processus et logiciels du BIM pour l'entreprise et facilite leur application (Joseph, 2011).

Le coordinateur BIM a des fonctions techniques plus spécifiques que celles du gestionnaire BIM (Barison & Santos, 2010). En effet, il est en charge de la réalisation des tâches de modélisation complexes ainsi que de la fine coordination des maquettes, ce qui n'est pas demandé à un gestionnaire. Il doit posséder des compétences métiers et informatiques avancées.

Au niveau du projet, il assure la transmission des maquettes aux étapes convenues dans le programme de coordination, tout en vérifiant la qualité des données. De plus, il représente son entreprise lors des réunions de coordination BIM (Barison & Santos, 2010).

Si ces deux rôles, apparus en raison des besoins de gestion conséquents au du BIM, sont désormais intégrés dans l'industrie, une prise de conscience de l'importance des utilisateurs finaux des modèles doit être amorcée.

Importance de la collaboration avec les entrepreneurs spécialisés

La considération des besoins de l'utilisateur final du modèle est une notion importante à prendre en compte pour obtenir les bénéfices attendus du BIM au niveau du projet.

Bowden et Thorpe (2002), exposent que 65 % des reprises de travaux sont dues à des informations incomplètes, inappropriées ou conflictuelles, diminuant la productivité des équipes de terrain. Or la littérature rapporte que c'est au niveau de la phase de construction que les coûts additionnels ont le plus d'impact (Eastman et al., 2011). En effet, un changement qui aurait un coût d'un dollar lors de la conception préliminaire, en coûterait dix lors de la conception et cent lors de la construction (Forbes & Ahmed, 2010).

Dès lors, l'amélioration de la qualité de la documentation et de la coordination réalisée grâce au BIM permet de diminuer le temps de coordination lors de la phase de construction (Hardin, 2009) et de réduire, voire éliminer les reprises de travaux grâce une bonne compréhension des informations par leur utilisateur final (Young, Jones, Bernstein, & Gudgel, 2009). C'est donc par une orientation de la modélisation et de la documentation vers cette phase, et plus particulièrement au niveau des entrepreneurs spécialisés, qu'une réduction des coûts pourra être réalisée. La communication et la collaboration avec les entrepreneurs spécialisés constitue ainsi le moyen privilégié d'obtenir une bonne orientation des modèles, point clé lors du travail autour du BIM.

Cependant, les processus de travail actuels, et notamment de contrat par conception, soumission, construction, n'encouragent pas la collaboration mais plutôt la compétition. De plus, ces contrats ne spécifient pas la responsabilité, la confidentialité ou l'appartenance des informations contenues dans les des maquettes numériques.

Des documents spécifiques doivent alors être ajoutés aux contrats. Ils ont pour rôle de préciser les éléments essentiels à l'implantation et à la planification du BIM dans un projet. Ces éléments, permettant également de documenter et standardiser les pratiques, sont contenus dans le PGB.

Le Plan de Gestion BIM (PGB)

Un besoin de planifier et standardiser

La standardisation est le fait de rendre conforme une production à un standard, c'est-à-dire à un référentiel commun documenté et diffusé à grande échelle, destiné à harmoniser l'activité d'un secteur (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, 2012).

A l'échelle de l'entreprise, la standardisation permet d'accroître la performance et d'optimiser les processus en éliminant les imprévus grâce à des réévaluations périodiques. Une documentation de ces processus facilite leur amélioration en continu, ce qui entraîne des gains de productivité et de qualité supérieurs à des modifications ponctuelles ou à une redéfinition de ceux-ci lorsque non répertoriés. (Stead, 2017)

Les projets de construction ont aujourd'hui un haut degré de standardisation au niveau des composants utilisés. Cependant, il y a une marge de progrès concernant la documentation et standardisation des processus, notamment au niveau de la gestion de projet, en regard des pratiques des autres industries. (Winch, 2010)

Cette documentation et cette standardisation établies aussi bien au niveau de l'entreprise que du projet sont formalisées dans l'approche BIM au travers du PGB.

Vue d'ensemble du PGB

Le premier pas essentiel à la mise en place du BIM pour un projet de construction est l'établissement d'un PGB (Forgues et al., 2011). Il s'agit d'un document définissant les rôles et responsabilité des intervenants, les utilisations et buts du BIM, ainsi que les processus, procédures et méthodes associés. Le PGB permet d'anticiper les problèmes dus à une collaboration inhabituelle en construction, tout en centralisant les informations pertinentes pour le projet (Ben Hassine et al., 2014). Cette partie sera construite autour d'une exploration des sections du PGB proposé dans un document de référence par *The Computer Integrated Construction Research Program (2011)*.

Les éléments initiaux du PGB relatifs à l'identification des buts et des usages BIM seront présentés dans un premier temps. Puis, l'élaboration des processus d'exécution du BIM et d'échanges d'informations constituera le deuxième volet. Enfin, la définition de l'infrastructure de support pour l'implantation du BIM sera traitée.

L'identification des buts et usages BIM.

La première partie du PGB dresse un portrait des attentes et objectifs généraux relatifs à l'emploi du BIM pour le projet. Dans un premier temps, une affectation des rôles organisationnels au niveau du BIM pour le projet doit être effectuée. Les personnes ressources, dont les gestionnaires et coordinateurs BIM, sont alors identifiés et leurs responsabilités sont définies (Institute for BIM in Canada, 2013).

La deuxième étape consiste en la définition des usages BIM, présentés dans le sous chapitre « Les solutions logicielles du BIM », en se basant sur les objectifs et les capacités de l'équipe de projet (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011). Ces usages, tels que la coordination 3D et la planification 4D, sont la traduction d'objectifs comme l'élimination des conflits avant chantier et le suivi du progrès de la construction, et sont à documenter explicitement pour une bonne compréhension de tous. Ces usages sont également à établir en précisant quelles informations seront à valoriser en fonction des besoins de leur utilisateur final (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011).

Définition des processus pour l'exécution du projet et les échanges d'informations

Dans cette deuxième partie du PGB, les moyens d'implantation et de réalisation des usages BIM identifiés sont décrit précisément. En effet, à un premier niveau, il s'agit d'explicitement les interactions entre les différents usages sélectionnés et comment ils sont intégrés au cycle de vie du projet avant de les détailler un à un. Des informations telles que les données à créer et échanger, les références ou encore les responsables des processus seront identifiés. (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011).

Ces processus étant basés sur des échanges de données au travers de maquettes numériques, on spécifie également dans cette partie quel doit être le contenu minimum de ces dernières (Institute for BIM in Canada, 2013). Ce contenu est quantifié au Canada par le moyen des LOD (Bolpagni & Ciribini, 2016) et classifié dans le PGB dans une grille d'échange d'informations, ou matrice LOD, qui sera présentée dans la prochaine partie de ce chapitre.

Définition de l'infrastructure de support pour l'implantation du BIM

Cette dernière partie du PGB est rédigée dans le but d'assurer une bonne implémentation du BIM telle que planifiée dans les parties précédentes. Il s'agit d'explicitier à l'équipe de projet les raisons et les objectifs de l'établissement du PGB avant de détailler précisément tous les points clés pour l'intégration du BIM au projet (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011). Les informations générales du projet et les points discutés précédemment y sont à nouveau exposés ainsi qu'un détail des procédures de collaborations, des stratégies de livraison des produits du BIM et des méthodes de contrôle qualité.

Au niveau technique, les exigences pour les formats des maquettes numériques à livrer pour correspondre aux exigences du client sont documentés dans cette partie. La structure des modèles, comme l'organisation et la nomenclature des fichiers, ou les divisions de maquettes numériques, ainsi que les procédures pour les échanges de données, telles que les combinaisons de modèles y sont également ajoutées (Institute for BIM in Canada, 2013). Enfin, l'équipe BIM spécifie dans cette partie les exigences quant aux logiciels, matériel informatique, et informations de références, telles que les bases de données ou les familles à utiliser pour atteindre les objectifs BIM sélectionnés (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011).

Écriture du PGB

Le PGB de projet devrait être développé par une équipe composée de toutes les parties du projet à savoir le propriétaire et ses représentants, les architectes, les ingénieurs, les entrepreneurs généraux et les principaux entrepreneurs spécialisés (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011). L'utilisation de modes d'approvisionnement favorisant l'implication des entrepreneurs spécialisés en amont du projet (conception-construction ou contrats relationnels tels que le « *Integrated Project Delivery* ») permet à ces derniers d'être parties prenantes à la rédaction du PGB.

En pratique, le plan de gestion BIM est monté par les architectes, les ingénieurs, le client et les entrepreneurs généraux en tenant compte de leur besoin et attentes. Les entrepreneurs spécialisés ne sont alors pas inclus dans cette équipe avec un mode de travail en conception-soumission-construction ne favorisant pas leur implication et n'étant pas près de disparaître. Cependant les échanges de données étant les plus intenses et critiques pour le respect des coûts, de la qualité et des délais au niveau de la construction de l'ouvrage, ce sont les voix de ces entrepreneurs qui devraient être entendues. Il apparaît alors nécessaire de comprendre quel est le contenu des maquettes numériques, ou LOD, requis par les entrepreneurs spécialisés car ils n'ont que rarement la chance de participer à l'établissement du PGB.

Les échanges de données cadrés par les LOD

La matrice LOD

La matrice LOD permet de regrouper les informations nécessaires à la collaboration autour des maquettes numériques. Elle est établie en fonction des informations à intégrer au modèle numérique, du découpage de celui-ci, et des requis pour les échanges d'informations. Ces échanges sont définis en regard de la personne à qui l'information est destinée, du type de fichier à utiliser et l'information nécessaire à l'usage BIM ciblé (The Computer Integrated Construction Research Program, 2011).

La matrice, dont un aperçu est fourni dans la Figure 1, se divise en lignes horizontales suivant les objets à modéliser et en colonnes suivant les phases du projet. Pour chaque objet et phase du projet on affecte une tâche de modélisation à un auteur qui devra créer l'élément et/ou l'amener au LOD renseigné dans cette matrice. Des jalons y sont également intégrés et permettent de cadencer et de suivre la production d'informations (BIM Forum, 2015).

Milestones shown here are examples only ->		SD			DD			CD			Estimating		
		Date			Date			Date			Est. 1		
Relevant Attribute Tables		LOD	MEA	Notes	LOD	MEA	Notes	LOD	MEA	Notes	LOD	MEA	Notes
SUBSTRUCTURE													
Foundations	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Standard Foundations	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Wall Foundations	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Column Foundations	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Standard Foundation Supplementary Components													
Special Foundations	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Subgrade Enclosures	A, B Concrete; A, B Wood; A, B Masonry; A, B Precast Concrete												
Slabs-on-Grade	A, B - Str. Concrete												
Water and Gas Mitigation													
Substructure Related Activities													
SHELL													
Superstructure													
Floor Construction	A, B Cold Formed Metal Framing;												

Figure 1 : matrice LOD (source : « Level of Development Specification Part II » BIM Forum 2016)

Présentation des LOD

La quantification par LOD, développée aux États-Unis, est utilisée ou a inspiré d'autres standards dans des pays tels que l'Australie, le Canada ou la France. Le standard américain de BIM Forum est celui adopté au Canada. (Bolpagni & Ciribini, 2016)

Dans cette partie, les acronymes LOD pour niveau de développement (ou *Level of Development*) et LOd pour niveau de détail (ou *Level of Detail*) seront utilisés. Dans un premier temps, le concept de LOD sera présenté, avant d'exposer certaines nuances et confusions quant aux termes utilisés pour définir le contenu des objets et des maquettes numériques.

Définition des LOD

Les LOD sont définis par l'AIA comme un moyen de quantifier l'information minimale requise pour un usage spécifique (The American Institute of Architects, 2008). Ils permettent aux créateurs des objets numériques de préciser quelles informations fournies sont fiables, et aux récepteurs de comprendre quelles utilisations sont possibles à partir de ces informations reçues (BIM Forum, 2016).

Les LOD ont alors pour principaux objectifs de faciliter la planification des informations à fournir dans les maquettes, faciliter le contrôle et le cadencement de la production d'information et lors de la conception, statuer sur la fiabilité des informations reçues via les maquettes, et fournir un standard qui peut être utilisé dans les contrats et PGB. (BIM Forum, 2016)

Tel que présenté sur la Figure 2 ci-dessous, il s'agit d'une catégorisation allant du niveau 100 pour une conception schématique, au niveau 500 pour un objet représenté tel que construit. Ces définitions sont cumulatives, i.e. un niveau possède toutes les caractéristiques du niveau précédent. Elles s'appliquent aux objets numériques et non à la maquette dans sa globalité. (BIM Forum, 2015)


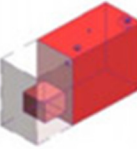



LOD 100 Conceptual	LOD 200 Approximate geometry	LOD 300 Precise geometry	LOD 400 Fabrication	LOD 500 As-built
				
The Model Element may be graphically represented in the Model with a symbol or other generic representation , but does not satisfy the requirements for LOD 200. Information related to the Model Element (i.e. cost per square metre, etc.) can be derived from other Model Elements.	The Model Element is graphically represented in the Model as a generic system, object, or assembly with approximate quantities, size, shape, location, and orientation.	The Model Element is graphically represented in the Model as a specific system, object, or assembly accurate in terms of quantity, size, shape, location, and orientation.	The Model Element is graphically represented in the Model as a specific system, object, or assembly that is accurate in terms of quantity, size, shape, location, and orientation with detailing, fabrication, assembly, and installation information .	The Model Element is a field verified representation accurate in terms of size, shape, location, quantity, and orientation.
	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.

Figure 2 : définition des LOD (NATSPEC, 2013)

Afin de permettre une coordination interdisciplinaire mieux adaptée aux besoins en information des entrepreneurs spécialisés, l'ajout d'un LOD intermédiaire est suggéré, le LOD 350, dont la caractéristique est d'être plus détaillé qu'un LOD 300, mais qui ne contient pas toutes les informations d'un LOD 400.

Nuances et difficultés

La définition de LOD se divise en deux parties : une description graphique, le LOD et une qualification des informations attachées, le LOI. La Figure 3 donne un aperçu de la différence entre les niveaux de l'échelle LOD, avec des attributs fiables en rouge, et de sa représentation graphique ou LOd. En effet, même si des caractéristiques précises peuvent être mesurées sur l'élément à un LOD 100, seule sa condition, c'est-à-dire « office chair », est vraie.

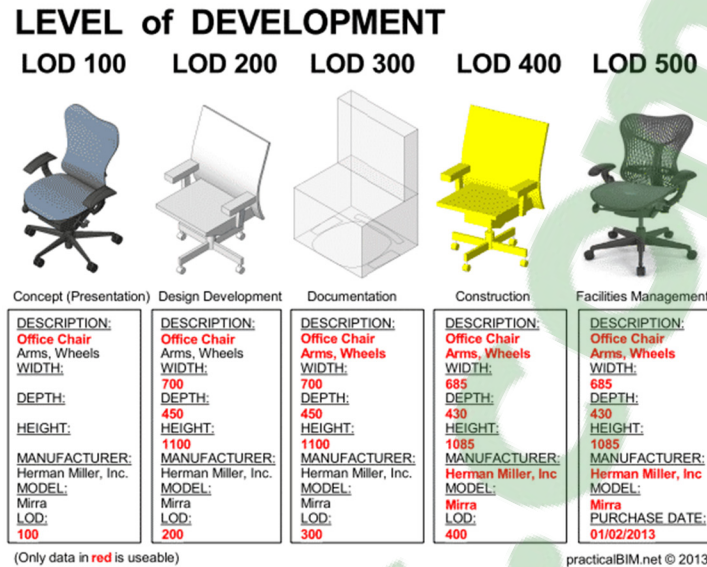


Figure 3 : : illustration de la nuance LOD et LOd (source : bimbtp.com)

Le LOd définit alors le niveau de précision visuelle de l'objet modélisé, sans pour autant assurer que cette représentation correspondra à ce qui sera construit. Le LOD y ajoute une dimension de fiabilité. En d'autres termes, si l'on représente un objet par un LOd 400, il semblera réaliste, au bon emplacement et des informations telles que ses dimensions ou son fabricant pourront être extraites et utilisées. Cependant si l'on spécifie que ce dernier à un LOD 200, les données fiables et exploitables ne seront que son emplacement et ses dimensions approximatives même si sa représentation semble réaliste.

Il est facile de trouver en ligne des objets génériques ou des produits de fabricant à un LOd 400. Cependant, ces objets ne seront pas forcément définitifs ou ceux à utiliser lors de la construction, y compris si la maquette dans laquelle ils sont présents semble aboutie. C'est cette notion, permettant d'éviter les erreurs d'interprétation, que quantifie le LOD à la différence du LOd.

Les informations non graphiques telles que les matériaux utilisés, le fabricant ou des spécifications pour la pose et la maintenance, sont également un paramètre d'entrée des LOD. Elles sont caractérisées par un niveau de précision informationnel, ou LOI.

Une des critiques faite à la définition des LOD est le manque de précision des LOI dont le champ est souvent vide ou complété par la formule "des informations non-graphiques peuvent être ajoutées" (Aksomitas, 2017). Cette phrase est visible dans quatre des cinq niveaux illustrés à la Figure 2. Cependant, dans la version 2016 du document « Level of Development Specification » de BIM Forum, des précisions semblent être apportées via une *Table d'attributs* plus complète dans laquelle les caractéristiques des objets numériques sont listées et peuvent être associées à un LOD par l'équipe BIM en début de projet.

CHAPITRE 2

Méthode de collecte des données

Les données présentées en annexe 1 ont été recueillies lors d'entrevues semi-dirigées menées de mai à août 2017 au sein de 12 entreprises.

Contenu du questionnaire

Les entrevues étaient basées sur un questionnaire suivant quatre thèmes principaux.

- Une première partie consistant en la prise d'information sur l'entreprise et ses pratiques générales autour de BIM.
- Une deuxième partie ayant pour but de mesurer les connaissances théoriques des participants sur le PGB et les LOD.
- Une troisième partie visant à capturer les mécanismes et enjeux au sujet des partages d'informations via les maquettes numériques.
- Une quatrième ayant pour objectif de recueillir les attentes des participants en termes de contenus attendu des maquettes numériques.

Entreprises rencontrées

Le tableau suivant expose une liste des entreprises contactées.

Spécialité / Discipline	Code entreprise	RDV Accepté	Personnes présentes
Béton	Bét_1	Non	
Béton	Bét_2	Non	
Électricité	Elec_1	Oui	Directeur du département dessin
Électricité	Elec_2	Oui	Dessinateur et coordinateur BIM
Électricité	Elec_3	Oui	Chargé de projet
Entrepreneur général	Géné_1	Oui	Coordinateur BIM pour l'électromécanique
Fournisseur de béton	F.Bét_1	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Directeur qualité et développement de produits • Ingénieur béton et responsable de la documentation technique • Spécialiste technique et développement de produits spéciaux
Fournisseur de logiciels	Log_1	Non	
Structures métalliques	Mét_1	Oui	Directeur BIM et Services dessins
Murs-rideaux vitrés, fenestration, vitreries	Vit_1	Oui	Vice-président
Plomberie, chauffage et gaz	Plomb_1	Non	
Ingénierie en mécanique du bâtiment,	Ing_1	Oui	Technicien principal en protection incendie anciennement entrepreneur spécialisé

Ingénierie en mécanique du bâtiment, département protection incendie	Ing_1	Oui	Technicien principal en protection incendie anciennement entrepreneur spécialisé
Protection incendie	P.Inc_1	Non	
Ventilation, chauffage et air conditionné	Mec_1	Oui	Dessinateur
Ventilation, plomberie et tuyauterie spécialisées	Mec_2	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Directeur estimation ventilation, • Dessinateur en chef, • Directeur exécution ventilation, • Directeur exécution plomberie
Ventilation, plomberie, tuyauterie spécialisées et électricité	Mec_3	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Vice-président, • Directeur technique
Ventilation, plomberie, tuyauterie spécialisées et électricité	Mec_4	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Président, • Dessinateurs (2)

Tableau 1 : liste des entreprises contactées

Sur les 17 entreprises contactées, 12 ont accepté la rencontre. Les résultats portent alors sur données recueillies auprès de 9 entrepreneurs spécialisés dans 4 domaines différents et ayant différentes expériences du BIM, à savoir :

- Électricité (3),
- Métaux,
- Murs-rideaux vitrés,
- Mécanique du bâtiment (4).

Une firme d'ingénieur, un entrepreneur général et un fournisseur ont également accepté la demande d'entrevue.

Ces résultats seront exposés en détail en annexe 1 selon une classification par discipline des participants et thèmes du questionnaire. Un résumé de ces derniers et une analyse sont présentés dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 3

SYNTHESE ET ANALYSE

Entrepreneurs spécialisés

Dans cette partie le terme « entrepreneurs » sera utilisé pour désigner les entrepreneurs spécialisés.

Portrait des entreprises

Dans le but de recueillir des résultats représentatifs de l'hétérogénéité du secteur de la construction québécoise, neuf entreprises spécialisées de taille diverses ont été contactées. En effet, le nombre d'employés des participants s'échelonne de 22 à plus de 2000 personnes avec une distribution équivalente suivant les catégories moins de 50 employés, moins de 200 employés et plus de 200 employés (voir Figure 4).

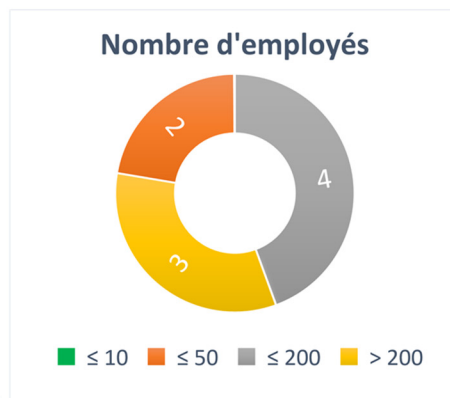
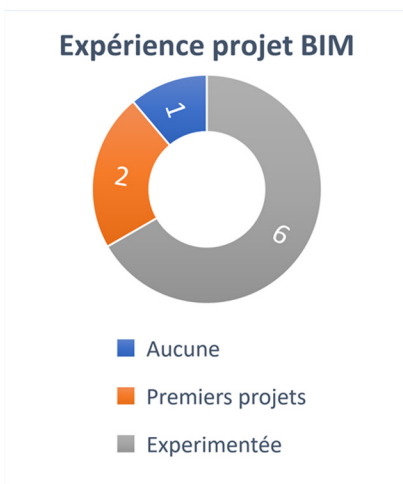


Figure 4 : distribution du nombre d'employés



De plus, l'expérience en termes de BIM, classée dans la Figure 5 en fonction du nombre de projets réalisés et des années d'expérience, varie du tout au rien. En effet, certains entrepreneurs n'ont jamais réalisé un projet comprenant un volet BIM tandis que d'autres sont reconnus comme chefs de file dans le domaine. Pour ce paramètre, même si la vision d'entrepreneurs inexpérimentés ou peu expérimentés permet d'élargir la portée de ce rapport et d'être plus représentatif de l'industrie, une concentration au niveau d'entrepreneurs plus expérimentés a été faite dans le but de recueillir des attentes réfléchies sur plusieurs projets et années.

Figure 5 : représentation de l'expérience BIM

Parmi les pratiques évoquées durant les entrevues par les huit entreprises ayant au moins une expérience BIM, la visualisation, la coordination et la facilitation de l'installation par l'utilisation des maquettes numériques sont les plus répandues (voir Figure 6). Lorsqu'interrogée sur les bénéfices attendus par une implantation du BIM, l'entrepreneur inexpérimenté a également retenu les aspects de visualisation et coordination.

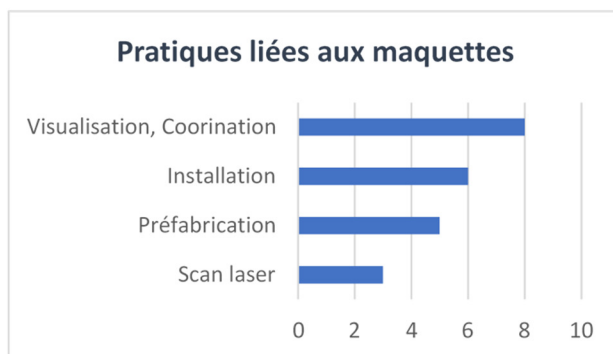


Figure 6 : pratiques répandues autour des maquettes

Connaissances théoriques

Les termes et concepts reliés au BIM, et plus particulièrement les notions de PGB et LOD sont méconnus des entrepreneurs, y compris ceux ayant une expérience conséquente du BIM (voir Figure 7). Sur ce point, il y a une forte dépendance entre les projets réalisés, la formation reçue et ces notions. Au niveau des entrepreneurs ayant une connaissance des bases du PGB et des LOD, la distinction entre les notions de niveau de détail et de développement peut être floue voire inconnue.

Connaissance des notions de PGB et LOD

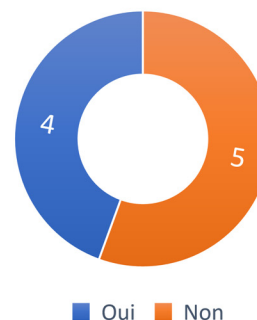
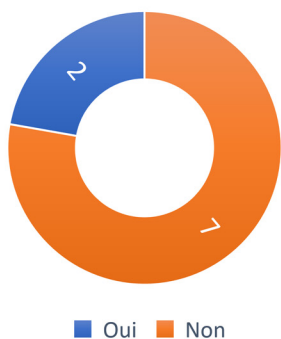


Figure 7 : connaissances théoriques

PGB interne



Même-si quatre des neuf entrepreneurs spécialisés rencontrés ont des connaissances du PGB, seulement deux ont des documents régissant le BIM rédigés à l'interne et appliqués à tous les projets n'ayant pas de PGB imposé (voir Figure 8). Les autres entrepreneurs appliquent le PGB imposé par l'entrepreneur général, les professionnels ou le donneur d'ouvrage sans volonté d'appropriation de ce type de document à l'interne.

Figure 8 : application d'un PGB à l'interne

Aucun des entrepreneurs spécialisés rencontrés n'a été consulté pour la mise en place du PGB de projet (voir Figure 9). C'est en partie sur ce point que les lacunes et les difficultés au niveau du BIM pour les entrepreneurs, énoncés au premier chapitre de ce rapport, pourraient être corrigées. En effet, par une intégration des attentes des entrepreneurs dans le PGB de projet, les bénéfices engendrés par la modélisation et les pratiques BIM pourraient alors être tournés vers la phase de construction, la plus coûteuse des projets.

Consulté pour le PGB de projet



Figure 9 : participation à l'établissement du PGB de projet

Enjeux principaux

La Figure 10 regroupe les difficultés et les enjeux principaux rencontrés par les entrepreneurs. Ces enjeux concernent aussi bien des entreprises dans lesquelles le BIM a déjà instauré, que des entrepreneurs ayant pour objectifs de l'implanter ou se lancer dans un premier projet ayant des exigences BIM. Tel que présenté dans cette figure, le point le plus problématique est lié aux maquettes des professionnels qui sont généralement à redessiner en raison des freins légaux, de leur indisponibilité ou de leur inadaptabilité aux besoins des entrepreneurs. Les contrats non adaptés à la collaboration, nécessaires au bon fonctionnement d'un projet BIM, et les nombreux ordres de changement lors de la phase construction sont également deux points problématiques partagés par la majeure partie des entrepreneurs interrogés.

De plus, des entrepreneurs ont rapporté que, même si les bénéfices du BIM pour la fabrication sont importants, les logiciels présentent des lacunes dans le domaine. Ce constat est plus ou moins appuyé suivant le corps de métier, avec certains cas où leur utilisation peut s'avérer très complexe, voire impossible.

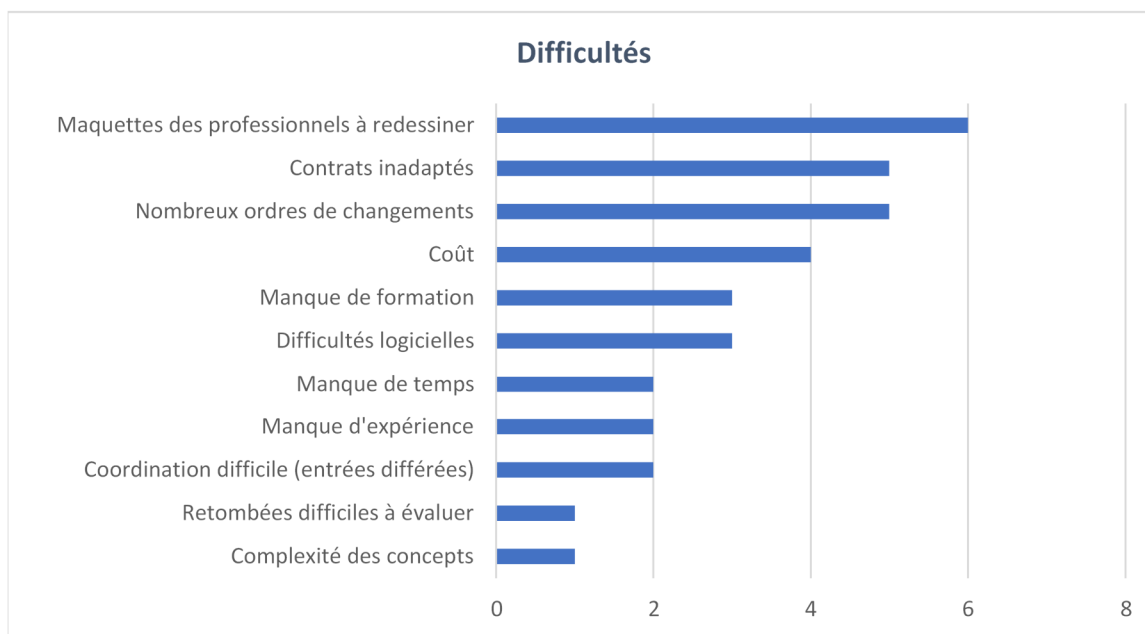


Figure 10 : difficultés et enjeux évoqués par les 9 entrepreneurs spécialisés rencontrés

Attentes

Cette partie regroupe les attentes des entrepreneurs par discipline. Il s'agit d'un aperçu de ce qu'il serait à prendre en compte lors de la mise en place du PGB afin de mieux les intégrer dans les processus BIM du projet. Ces attentes sont une synthèse de celles formulées lors des entrevues dont les résultats sont exposés en annexe 1. Afin d'en obtenir les raisons ainsi qu'un développement plus complet, il est possible de se référer aux paragraphes « attentes » de cette annexe. La partie ci-dessous, destinée aux rédacteurs des PGB, a pour objectifs de faire prendre conscience des difficultés que peuvent rencontrer les entrepreneurs en regard des exigences BIM, généralement non adaptées à leur réalité et leurs besoins en information, et de la nécessité de les consulter.

Électricité

1. Avoir la possibilité de récupérer les maquettes des professionnels et de travailler à partir de celles-ci constituerait une avancée conséquente. Ceci permettrait de s'organiser autour de maquettes partagées entre entrepreneurs et professionnels.
2. Il faudrait utiliser des modes contractuels encourageant la communication et le suivi avec les ingénieurs. Ces derniers devraient travailler à partir d'une maquette faite par les entrepreneurs lors de la phase de construction.
3. Le travail de modélisation demandé aux entrepreneurs devrait se limiter à ce qui leur est utile. Leur affecter des tâches de modélisations non nécessaires à la construction ajouterait du travail superflu et allongerait les délais de cette phase coûteuse.
4. Il serait plus efficace de fournir de l'information dans la maquette plutôt que dans des fichiers liés. Spécifier les LOD et non seulement les niveaux de détail, qui sont trompeurs, ainsi que fournir et exiger des documents précis ne laissant pas de place à l'interprétation faciliterait le travail avec les maquettes.
5. Un LOD 350 pourrait être approprié, mais, se limiter à un LOD 200 permet d'avoir une liberté d'optimisation pour les emplacements ayant beaucoup de systèmes, les réseaux de conduits, et le choix de manufacturiers.
6. Modéliser à partir d'éléments génériques proposés par les professionnels et avoir de la flexibilité pour le passage des réseaux de conduits seraient de bonnes options. L'entrepreneur agencerait précisément les équipements et fournirait un TQC à partir d'un arrangement global réalisé par les professionnels.

Structure d'acier

1. Le format d'échange et le contenu à partager dépendent du besoin du destinataire du modèle. Il faudrait adapter ces informations au cas par cas et les fournir dans un format approprié.
2. Les maquettes des professionnels devraient devenir contractuelles. Les entrepreneurs devraient pouvoir légalement y avoir accès et avoir l'opportunité de modéliser dans ces dernières afin d'éliminer le problème de l'existence de deux types de maquettes (tel que conçu et tel que construit). Dans ce cas, il faudrait valider l'opportunité de revoir le système d'honoraires des professionnels car cela pourrait requérir des adaptations dans leurs responsabilités et leurs tâches de modélisation.
3. Recevoir une maquette provenant des ingénieurs avec les éléments de la structure à un LOD 300, c'est-à-dire où toutes les membrures seraient à une position réelle et finale serait avantageux. Il faudrait également ajouter au minimum les profilés sur toutes les membrures. Les nuances d'acier devraient être directement renseignées dans l'objet ou mises en note avec une règle simple permettant une application limitant le risque d'erreurs.

4. Les éléments de détails devraient être modélisés avec précision pour permettre la fabrication (LOD 400), ou non modélisés, mais pas approximativement. Il faudrait qu'il y ait un statut par membrure précisant son propre état d'avancement dans les documents fournis par les professionnels. Idéalement, à des fins de standardisation, ce statut devrait être un LOD ; sinon, dans des projets où ils ne sont pas ou que partiellement utilisés, il peut s'agir d'un champ attaché à l'objet.

Murs-rideaux vitrés, fenestrations et vitreries

1. Il faudrait une solution pour pouvoir modéliser à partir des maquettes des professionnels.
2. Revoir le cadre contractuel permettrait de faciliter la transition vers le BIM.
3. Les donneurs d'ouvrages devraient donner plus de temps aux projets, particulièrement en amont du chantier, lorsque toutes les décisions doivent être prises, pour faciliter le virage du BIM et obtenir une meilleure qualité du produit.

Mécanique du bâtiment

1. Même si plus de précision de la part des ingénieurs peut guider, ils devraient fournir une base avec des équipements à un LOD 200 pour que les entrepreneurs puissent faire évoluer la maquette jusqu'à un niveau leur permettant leurs propres usages. Les LOD à atteindre devraient être définis en fonction des besoins des entrepreneurs, et non pour le PGB.
- 2.1. Les professionnels devraient se limiter au conceptuel, avec une localisation générale des équipements, sous forme d'objets génériques, puis transférer les documents aux entrepreneurs afin de compléter la conception en regard des composants existants et des contraintes techniques. Il faudrait une vérification dimensionnelle des équivalences entre les équipements de la part des professionnels.
- 2.2. Il peut être cependant intéressant d'obtenir des équipements modélisés précisément de la part des ingénieurs, même si placés approximativement, afin de gagner du temps sur les informations à ajouter à ces derniers.
- 2.3. Il faudrait ainsi revoir le mode contractuel actuel avec moins de temps de modélisation des ingénieurs et un changement de leurs honoraires. Leurs maquettes devraient devenir contractuelles.
3. Avec une entrée plus en amont dans le projet, l'entrepreneur pourrait dessiner la première maquette à un LOD 300 à partir de schémas de principes et de critères de dimensionnements fournis par les par les ingénieurs. Ceci devrait être réalisé en assurant une coordination avec les ingénieurs avant d'amener la modélisation à un LOD 400.

- 4.1. Plus de temps de préparation en début de projet devrait être accordé. Une pré-coordination des professionnels en électricité, plomberie et mécanique, devrait être effectuée à l'ingénierie. La fine coordination serait par la suite l'expertise de l'entrepreneur, qui travaillerait à partir de schémas d'opération les plus précis possibles fournis par les ingénieurs.
- 4.2. Une fois que la maquette de construction est fournie par les entrepreneurs, l'ajout d'informations utiles à l'exploitation de l'ouvrage ne devrait pas être leur mandat. Le client pourrait engager une équipe dédiée à cette tâche.
5. Il faudrait normaliser les formats d'échange avec une norme adaptée à tous les corps de métiers. Cette norme doit être internationale afin d'être capable de communiquer avec un même standard, y compris pour les projets internationaux
- 6.1 En plomberie, il serait utile d'obtenir une modélisation à un LOD 350 pour les chemins principaux des systèmes mais pas pour les détails secondaires tels que les petits raccordements.
- 6.2 Le cas est cependant différent en ventilation car les conduits sont plus volumineux. Les ingénieurs devraient fournir une modélisation de l'ensemble du réseau à un LOD 400. Lors de la modélisation, une collaboration doit être assurée avec les entrepreneurs afin de leur laisser des possibilités d'optimisation, ces derniers possédant des connaissances de terrain plus avancées.

Exigences communes

Les maquettes des professionnels doivent devenir contractuelles et les modes contractuels doivent être revus.

Actuellement, si l'accès aux maquettes de conception est autorisé, il est nécessaire d'en créer de nouvelles pour la construction afin de séparer les responsabilités entre les concepteurs et les entrepreneurs. Cela limite la collaboration entre les deux partis et crée des difficultés pour le suivi des modifications.

Faire des maquettes numériques des documents contractuels permettrait aux entrepreneurs de modéliser directement à partir des maquettes des concepteurs et d'accéder plus rapidement à des informations essentielles vérifiées. Il faudrait alors spécifier dans le PGB à quel LOD celles-ci doivent être fournies et, dans le cas de maquettes conception-construction partagées, à qui incombe la tâche d'avancer la modélisation.

De plus, si des maquettes sont disponibles dès l'appel d'offre, il s'agirait d'un réel bénéfice pour le projet avec des soumissions au plus juste grâce à des estimations facilitées par des relevés de quantités plus précis. Une pré-qualification des entrepreneurs par rapport à leurs compétences BIM et à leur volonté de collaboration serait également avantageux.

Il doit y avoir une adaptation aux besoins en information des acteurs du projet.

Les entrepreneurs reçoivent des maquettes et des informations non adaptées à leurs besoins. Ceci entraîne un allongement de la durée du projet par des tâches de modélisation supplémentaires, des délais inhérents aux demandes d'informations manquantes et du temps passé à produire des informations inutiles. Prendre connaissance dès le début du projet des besoins des destinataires des informations et se limiter à ceux-ci offre une bonne piste d'optimisation du partage d'informations.

Le LOD devra varier entre 200, conception en développement, et 400, prêt pour la fabrication, suivant les objets et acteurs.

Pour les entrepreneurs, un LOD 200 permet d'avoir une certaine liberté d'optimisation et le choix du fournisseur, alors qu'un LOD 400 permet d'obtenir des éléments déjà coordonnés et prêts à produire. Un LOD 350 ou 400 pourrait être approprié pour des éléments complexes et LOD 200 pour des objets dont une partie de la conception peut être réalisée par l'entrepreneur. Ceci est à définir dans le PGB en collaboration avec les entrepreneurs concernés.

D'autres acteurs de l'environnement du projet

Dans le but d'avoir une vision de la part d'acteurs en interaction avec les entrepreneurs spécialisés dans l'environnement du projet, des rencontres avec un entrepreneur général, une firme d'ingénierie, et un fournisseur de matière première ont été organisées.

Présentation des entreprises

Les trois entreprises rencontrées emploient plus de 1000 personnes et ont une expérience variée du BIM. Les informations pertinentes à l'étude sur la présentation de ces entreprises sont regroupées Figure 11. Comme précédemment, des données plus complètes sont disponibles dans l'annexe 1 « résultats des entrevues ».







Ing_1	1^{ère} année Expérience projet BIM	PGB LOD Connaissances théoriques	 PGB interne	 Participe à l'établissement du PGB de projet
Géné_1	Expérimenté Expérience projet BIM	PGB LOD Connaissances théoriques	 PGB interne	 Participe à l'établissement du PGB de projet
F.Bét_1	Aucune Expérience projet BIM	PGB LOD Connaissances théoriques	 PGB interne	 Participe à l'établissement du PGB de projet

Figure 11 : présentation des ingénieur, entrepreneur général et fournisseur

Avantages et enjeux

Les avantages et enjeux du BIM relevés par les trois entreprises présentées précédemment sont les suivants.

Avantages attendus	Enjeux
Réduction des extras	Implantation et concepts récents
Meilleure coordination à l'ingénierie	Problèmes légaux d'accès aux maquettes à l'appel d'offre pour les entrepreneurs
Meilleure visualisation	Temps de modélisation plus long pour l'ingénieur

Tableau 2 : données recueillies chez Ing_1

Avantages	Enjeux
Meilleure coordination	Existence de deux maquettes
Accélération des travaux	Est-ce à l'ingénieur de modéliser pour la construction ou doit-il émettre des concepts à modéliser par les entrepreneurs ?
Meilleure gestion et contrôle du chantier	

Tableau 3 : données recueillies chez Géné_1

Avantages attendus	Enjeux et difficultés
Meilleure traçabilité	Difficulté d'implantation du BIM chez les fournisseurs
Automatisation des processus	Les fournisseurs n'ont pas leur mot à dire pour les maquettes et celles-ci ne sont pas fournies
Optimisation du coût global des projets	Logiciels et standards BIM non adaptés aux produits bétons non préfabriqués
	Mise en place complexe et changements impliqués par le passage au BIM méconnus

Tableau 4 : données recueillies chez F.Bét_1

Perspectives

Les personnes rencontrées ont également été interrogées sur leurs attentes, leurs perspectives, ainsi que sur leur vision du travail en collaboration avec les entrepreneurs spécialisés. Les principales réponses sont regroupées ci-dessous. Un développement plus complet et le détail de ces perspectives sont présentés en annexe.

Technicien principal en protection incendie chez Ing_1, anciennement entrepreneur spécialisé

1. Même si le temps de conception pour les ingénieurs est plus long, les projets devraient être globalement plus rapide. En effet, le BIM ajoute du temps de préparation en amont de la phase de construction pour fournir des documents plus précis et mieux coordonnés constituant un investissement pour une économie de temps importante sur chantier.
2. Il serait plus facile pour les entrepreneurs spécialisés d'avoir à modifier une maquette, créée en conception par les ingénieurs que d'en créer une.
3. Il serait plus avantageux pour les entrepreneurs spécialisés et généraux de pouvoir consulter les maquettes dès la phase d'appel d'offre.

Coordinateur BIM pour l'électromécanique chez Géné_1

1. Il faudrait une intégration au plus tôt des entrepreneurs spécialisés dans l'équipe de projet pour avancer la modélisation des maquettes de construction. Pour cela, la meilleure solution est le DB ou le PPP.
2. L'ingénieur devrait seulement émettre des concepts avec une coordination minimale.
3. Il faudrait que toutes les informations nécessaires à la compréhension soient présentes et adaptées au destinataire.

Directeur, ingénieur et spécialiste technique chez F.Bét_1

1. Il faudrait qu'un acteur fort impose la transition vers le BIM. Il ne faudrait cependant pas d'imposition des logiciels mais une harmonisation des pratiques.
2. Il ne faudrait pas limiter l'utilisation du BIM au simple calcul du coût minimal de la construction pour une variante donnée, sans prendre en compte d'autres paramètres tels que les coûts d'entretien ou l'impact environnemental.
3. Il ne faudrait pas créer une version québécoise isolée au niveau de la formation, des outils et des standards utilisés pour le BIM, mais travailler en collaboration avec le Canada et l'international.

Conclusion

Les entrevues menées, avec une concentration au niveau des entrepreneurs spécialisés, ont permis de mettre en lumière leurs attentes au niveau du BIM ainsi que les lacunes réduisant les bénéfices de ces projets. Tel qu'exposé dans la littérature, c'est une prise en compte de ces considérations dès la planification de l'exécution du BIM pour le projet, c'est-à-dire au niveau du plan de gestion BIM, qui engendrerait les bénéfices les plus conséquents. Les entrepreneurs spécialisés, aujourd'hui à l'écart, devraient alors avoir la possibilité de participer à l'établissement de ce document. Les principales requêtes des entrepreneurs résident en des changements contractuels avec comme point principal la possibilité de travailler directement à partir des maquettes numériques des professionnels. Pour se faire, il doit y avoir une adaptation du contenu de ces dernières, ou niveau de développement, en fonction de leurs attentes. Les honoraires des professionnels devraient alors être revus en conséquence.

De manière générale, dans l'esprit du BIM, il devrait y avoir une collaboration entre tous les acteurs du projet dès la phase de planification des exigences BIM et du projet lui-même. La firme d'ingénierie, l'entrepreneur général et le fournisseur rencontrés ont bien conscience des avantages qu'apporteraient cette collaboration au niveau du projet, même si leurs activités respectives ne seraient pas directement touchées. Un ajustement du transfert d'informations en fonction du destinataire ainsi que l'établissement de normes internationales adaptées à toutes les disciplines faciliteraient la communication et participeraient au virage du numérique.

Bibliographie

- Aksomitas, D. (2017). LOD is wasting our time and holding BIM back. Repéré le 4 Août 2017 à <http://www.infinibim.com/lod-is-wasting-our-time-and-holding-bim-back/>
- Barison, M. B., & Santos, E. T. (2010). An overview of BIM specialists. Dans *INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING* (pp. 141).
- Bedrick, J. (2008, August 20, 2008). Organizing the Development of a Building Information Model. *AECbytes*, 4.
- Ben Hassine, M., Collot, P., Dionne, J.-P., Frenette, S., & Sert, R. (2014). *Le BIM : Planifier pour mieux collaborer. Discussion sur la planification des projets en mode BIM*. GRIDD, Consortech. Repéré à [http://gridd.etsmtl.ca/publications/2014%20rapport%20de%20rencontre%20BIM%20C](http://gridd.etsmtl.ca/publications/2014%20rapport%20de%20rencontre%20BIM%20Consortech.pdf)
- Bernstein, H. M., & Jones, S. A. (2012). *The Business Value of BIM in North America, Smart Market Report*.
- BIM Forum. (2011). *BIM Tools Matrix*.
- BIM Forum. (2015). Level of Development Specification. For Building Information Model. Repéré
- BIM Forum. (2016). Level of Development Specification. LOD Spec 2016 Part I.
- Bolpagni, M., & Ciribini, A. L. C. (2016). *The Information Modeling and the Progression of Data-Driven Projects* présentée à Proceedings of the 20th CIB World Building Congress - Intelligent Built Environment for Life, Tampere, Finland.
- Bowden, S., & Thorpe, A. (2002). Mobile communications for on-site collaboration. Dans *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering* (Vol. 150, pp. 38-44). Thomas Telford Ltd.
- Brousseau, E., & Rallet, A. (1995). Efficacité et inefficacité de l'organisation du bâtiment : une interprétation en termes de trajectoire organisationnelle. *Revue d'économie industrielle*, 74(1), 9-30. doi: 10.3406/rei.1995.1594
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2012). Outils et Ressources pour un Traitement Optimisé de la LANGue. Repéré le 10 Juillet 2017 à <http://www.cnrtl.fr/definition/>
- Coleman, G. S., & Jun, J. W. (2004). *Interoperability and the Construction Process - A white paper for building owners and project decision-makers*. American Institute of Steel Construction.

- Commission de la construction du Québec. (2017). L'industrie en chiffres. Repéré le 11-05-2017 à https://www.ccq.org/fr-CA/B_IndustrieConstruction/B02_IndustrieChiffres?profil=GrandPublic
- Eastman, C. M., Eastman, C., Teicholz, P., & Sacks, R. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Forbes, L. H., & Ahmed, S. M. (2010). *Modern construction: lean project delivery and integrated practices*. CRC Press.
- Forgues, D., Staub-French, S., Iordanova, I., Kassaian, A., Abdulaal, B., Samilski, M., . . . Nepal, M. (2011). *Building Information Modelling "Best Practices" Project Report. An Investigation of "Best Practices" Through Case Studies at Regional, National, and International Levels. Productivity Alberta*. Repéré à <http://gridd.etsmtl.ca/publications/2011%20rapport%20Alberta%20T.O.P.%20BIM%20Best%20Practices.pdf>
- Forgues, D., Staub-French, S., Tahrani, S., & Poirier, E. A. (2014). *L'inévitable passage à la modélisation des données du bâtiment (BIM) dans l'industrie de la construction au Canada : Synthèse de trois expérimentations*. CEFRIO. Repéré à http://www.cefrio.qc.ca/media/uploader/Construction_TIC_Synthese_finale_mars_2014.pdf
- Forgues, D., Tahrani, S., & Frenette, S. (2014). *Construction 2.0 : L'efficacité par le numérique*. CEFRIO. Repéré à http://www.cefrio.qc.ca/media/uploader/Construction_20_final.pdf
- González, P., González, V., Molenaar, K., & Orozco, F. (2014). Analysis of Causes of Delay and Time Performance in Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(1), 04013027. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000721
- Hardin, B. (2009). BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows, 7.
- Institute for BIM in Canada. (2011). *Environmental Scan of BIM Tools Standards*.
- Institute for BIM in Canada. (2013). *Boîte à outils d'un Pxp de MDB*.
- Joseph, J. (2011). *BIM Titles and Job Descriptions : How Do They Fit in Your Organizational Structure ?* présentée à Autodesk University, Las Vegas.
- Kreider, R. G., & Messner, J. I. (2013). *The Uses of BIM : Classifying and Selecting BIM Uses*. The Pennsylvania State University.
- NATSPEC. (2013). *BIM and LOD - Building Information Modelling and Level of Development*.

- NBIMS. (2007). *National Building Information Modeling Standard Part-1: Overview, Principles and Methodologies* présentée à US National Institute of Building Sciences Facilities Information Council, BIM Committee.
- Poyet, P. (1993). Évolution des pratiques informatiques dans le secteur de la construction. *Cahiers du CSTB*, 2660.
- Staub-French, S., Forgues, D., Iordanova, I., Kassaian, A., Abdulaal, B., Samilski, M., . . . Nepal, M. (2011). *Building Information Modeling (BIM) 'Best Practices' Project Report*.
- Stead, S. (2017). L'innovation par la standardisation. Repéré le 17-07-2017 à <https://www.aconex.com/blogs/fr/2017/02/linnovation-par-la-standardisation.html>
- Tahrani, S., Forgues, D., & Poirier, E. A. (2015, 26 Mai 2015). *L'adoption du BIM et des approches intégrées au Québec* présentée à Grande rencontre BIM, Centre Mont-Royal, Montréal.
- The American Institute of Architects. (2008). *E202-2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit*.
- The Computer Integrated Construction Research Program. (2011). *BIM Project Execution Planning Guide Version 2.1*. The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. Repéré à [http://classes.engr.oregonstate.edu/cce/spring2017/cce203/BIM_ExecutionPlanPennState/01_BIM_Project_Execution_Planning_Guide/01_BIM_Project_Execution_Planning_Guide_V2.1_\(one-sided\).pdf](http://classes.engr.oregonstate.edu/cce/spring2017/cce203/BIM_ExecutionPlanPennState/01_BIM_Project_Execution_Planning_Guide/01_BIM_Project_Execution_Planning_Guide_V2.1_(one-sided).pdf)
- Winch, G. M. (2010). *Managing construction projects*. John Wiley & Sons.
- Young, N. W., Jones, S. A., Bernstein, H. M., & Gudgel, J. E. (2009). *The Business Value of BIM : Getting Building Information Modeling to the Bottom Line*, Smart Market Report.

ANNEXE II

RÉSULTATS DES ENTREVUES CONDENSÉS

Entrepreneurs spécialisés en électricité

Elec_1 :

Présentation

Elec_1 est une entreprise de 500 employés avec un département dessin comportant une équipe dédiée au BIM depuis 2014. L'entreprise répond à tous types de contrats pour des clients aussi bien publics que privés. L'entrevue s'est réalisée en présence du directeur du département dessin.

Le BIM est vu comme l'avenir de la construction. Pour l'entreprise, les principaux avantages résident dans la préfabrication et la coordination, ce qui permet d'alléger la tâche du contremaître. Ceci donne plus de contrôle, surtout en ajoutant beaucoup de détail, ce qui diminue alors les imprévus. Le BIM leur permet d'éliminer le plus de problème possible avant le chantier grâce à la visualisation sur la maquette et la coordination avec les autres entrepreneurs.

Vision

Un plan de gestion BIM et un guide des bonnes pratiques associées ont été créé à l'interne. L'objectif de l'entreprise est d'implanter un processus uniforme en utilisant des extensions sur leur logiciel, allant de la conception à la fabrication centrée sur la maquette numérique, afin d'éliminer les tâches de re-modélisation. Le système employé pour le choix des nouveaux processus et extension est l'essai erreur.

Gestion

Expérience

L'entreprise a commencé avec le BIM en préfabrication, et fonctionne désormais suivant ces principes y compris dans des contrats ne comportant pas d'exigences BIM en recréant toutes les maquettes. Le temps consacré à modéliser devient un investissement rentable sur chantier.

L'entreprise commence à utiliser les nouvelles technologies sur chantier, comme le scan laser et les stations totales robotisées pour implanter les points les ancrages à la place d'un report de côtes au ruban à mesurer. Ces machines permettent d'accélérer le travail et de le faire plus précisément en plus de permettre d'effectuer un contrôle qualité. Un drone a également été essayé pour inspecter des réseaux aériens.

L'entreprise a déjà livré un TQC mais pas à un LOD permettant l'entretien, les mandats n'ayant pas été détaillés en début de projet.

Pratiques

Les dessinateurs utilisent essentiellement Revit, une interface web est ouverte aux gérants de projet. Les contremaîtres sur chantier utilisent des tablettes car le media papier ne bouge pas assez vite. Même si le papier est encore présent pour certains contremaîtres, la visualisation de la maquette sur tablette donne plus de détail et facilite le travail.

Logiciels, moyens

Suite aux premiers projets BIM réalisés par l'entreprise, un PGB a été rédigé interne. Celui-ci est à appliquer dans le cas d'un PGB non imposé dans le dossier de projet. Si le PGB est imposé ils ne sont pas consultés. Ils ont cependant un droit de regard dans des projets clés en main. Les PGB sont imposés dans des gros projets mais pas dans des projets à petite échelle. PGB

L'entreprise s'est attardée sur les LOD pour gérer l'avancement du détail, notamment pour identifier ce qu'il reste à coordonner. La différence entre niveau de détail et niveau de développement est bien comprise. L'outil n'a pas encore été utilisé mais le sera comme outil de gestion de qualité et suivi pour la modélisation. Est intéressé au niveau de détail, pour faciliter la reconnaissance des équipements sur la maquette. LOD

Il n'y a pas d'accès aux maquettes des professionnels en raison des contrats qui sont mal rédigés. Pour faire du BIM il faut recréer les maquettes de structures et d'architectures. De plus, il n'y a pas de lien entre les professionnels et les entrepreneurs mais uniquement par le biais du client. Sur des projets récents, la coordination interdisciplinaire, gérée par un PGB, ne se fait qu'entre entrepreneurs. Cependant il serait souhaitable que ce soient les professionnels et les généraux qui gèrent la coordination interdisciplinaire et les conflits et les assignent aux entrepreneurs.

Certains clients envisagent d'engager des gestionnaires BIM et ne plus laisser le travail de coordination à l'entrepreneur général. Cela peut amener des conflits avec une partie de plus car l'entrepreneur spécialisé demeure toujours engagé par l'entrepreneur général. En impliquant le client dans l'équation, les négociations se retrouvent élargies entre trois parties, cependant, le client n'a pas de lien contractuel avec l'entrepreneur spécialisé. Le lien de confiance et d'affaire demeure entre les entrepreneurs généraux et spécialisés.

Les entrepreneurs auraient avantage à utiliser les question-réponses techniques directement sur la plateforme BIM. Il faudrait que les questions soient liées à une composante de la maquette pour être capable de faire un suivi afin d'identifier qui ne répond pas, qui retarde, qu'est ce qui cause les retards. Faits

Aucune maquette de professionnel n'a été mise à disposition. L'enjeu est d'intégrer une maquette entrepreneur et une maquette de professionnel. En effet, actuellement on ne peut pas travailler avec une maquette unique pour séparer les responsabilités de chacun. Il y a alors deux maquettes électriques dans les projets mais cela crée des problèmes pour les modifications et échanges.

Il y a beaucoup de définitions difficiles pour beaucoup de concepts difficiles à intégrer pour des novices. Pour obtenir des bénéfices à l'opération du bâtiment il faut le planifier dès le début du projet. Les clients ne sont pas au courant de l'intérêt des TQC, certains veulent récupérer uniquement le data et pas le volume, ce qui entraîne une perte de données importante.

Il existe également un problème de liaisons des maquettes avec les dessins d'atelier, pour l'instant ce sont des PDF qui doivent être reproduits par la suite dans la maquette. Pourquoi ne pas directement échanger via la maquette BIM qui contient toutes les informations? Le problème existe aussi avec les fournisseurs. En effet certains ont des grandes lignes des produits modélisés, mais ils ne sont pas adaptés aux entrepreneurs qui ne doivent alors les remodeler. Enjeux

Il existe des problèmes avec des éléments, comme des câbles flexibles ou des « barres omnibus », qui n'existe pas dans Revit. On remplace donc cela par du tuyau de plomberie ou par des conduits de ventilation ce qui fausse la maquette. Revit a besoin de se développer vers l'électrique.

Difficultés logicielles

Il pourrait être approprié d'obtenir un LOD 350 des professionnels. Cependant pour la distribution électrique, les entrepreneurs souhaitent avoir le choix de leur manufacturier, et donc leurs dimensions, ce qui bloque le LOD à 200 pour ces objets. De plus, la fine coordination des salles électriques, est faite par les entrepreneurs ce qui ne permet pas d'obtenir une maquette à un LOD 350 pour le contenu de ces salles. En effet, les entrepreneurs souhaitent garder de la flexibilité là où il y a beaucoup de systèmes. Mais pour un LOD 200, le fardeau d'avancement de la maquette revient à l'entrepreneurs, et, dans le cas d'une entreprise ne disposant pas d'équipe BIM, il faut engager une firme de dessinateur externe. Les réseaux de conduits ne sont pas modélisés par les professionnels, il s'agit du mandat de l'entrepreneur avec leur propre technique pour couper les coûts.

LOD

Il serait bienvenu de pouvoir récupérer une maquette des professionnels. C'est quasiment impossible de définir un LOD avec un plan à moins d'avoir un tableau associé avec tous les composants détaillés mais la re-modélisation est une tâche difficile.

Les LOD des composants n'étant généralement pas fixés, ou respectés, il doit y avoir de la communication entre les partis pour bien savoir quels sont les niveaux utilisés. Des composants peuvent sembler définitifs dans la maquette mais sont réellement laissés au hasard et à coordonner par l'entrepreneur sans indications formelles.

Collaboration

De plus, il serait préférable d'entrer les informations des systèmes directement dans la maquette et non jointes dans des fichiers Excel afin de centraliser les informations. L'objectif est de faire et exiger des maquettes plus précises.

Il faudrait des maquettes standardisées pour les entrepreneurs, surtout pour les grands projets où plusieurs électriciens sont impliqués. Un protocole de modélisation pour chaque objet ou un développement commun avant un partage peuvent être des solutions.

Technique

Les architectes souhaitent changer leurs lois pour pouvoir facturer le BIM. Mais le problème est qu'ils seront payés pour fournir un LOD 200 et les entrepreneurs l'avanceront au 350 sans être payés pour cela. De plus, il semblerait que les architectes préfèrent avoir deux maquettes, la leur et celle de l'entrepreneur général car cela leur coûte plus cher de se coordonner avec les entrepreneurs. Cela crée des problèmes d'oublis et d'erreur de coordination.

Difficultés avec les professionnels

Elec_2 :

Présentation

Elec_2 est une entreprise de 200 employés. L'entrevue s'est déroulée en présence du seul dessinateur, et coordinateur BIM, arrivé dans l'équipe en début d'année 2017. Il est membre d'un département composé d'une centaine de personnes travaillant dans la branche commerciale.

Pour ce chantier, la maquette est utilisée à des fins de coordination et d'installation ainsi que pour livrer un TQC, cependant sans spécifications précises.

Avant ce dernier chantier il n'y avait pas de BIM dans l'entreprise avec seulement un dessinateur. Les dessins faits avant ce chantier étaient des essais et ne représentaient pas la réalité du chantier.

Cas particulier

Expérience

Aujourd'hui, les vues et mises en plans tirées de la maquette sont affichées et mises à jour dans les salles électriques. Le dessinateur effectue des visites de chantier quotidiennement et remodélise tel que fait par les ouvriers. Il modélise à un niveau de détail au plus proche de la réalité du chantier, en y ajoutant même des pièces telles que les ancrages disponibles en ligne sur le site de leur fournisseur.

Ces articles sont alors identifiés et traçables grâce à leur code d'identification qui est également présent sur les bons de livraisons. Le placement de certains éléments est réalisé grâce à des lasers. Il utilise les familles génériques trouvées sur internet mais certaines ont dû être créées. Pratiques

Le dessinateur est le seul à utiliser la maquette. Il travaille tout de même en collaboration avec le surintendant pour garder la maquette à jour. La modélisation est faite sur Revit et la coordination avec les autres corps de métiers est réalisée via BIM 360 Glue. AutoCAD est encore présent pour effectuer les calculs d'éclairages à partir d'extractions de Revit. Logiciels, moyens

Connaissances théoriques

Le dessinateur et coordinateur BIM de l'entreprise s'est autoformé sur le tas et par des recherches en ligne pour ce premier chantier début 2017 lors de son embauche. Il ne connaît pas, au moment de l'entrevue, les notions de LOD et PGB.

PGB et LOD

Processus de collaboration

Toutes les maquettes sont sur une plateforme en ligne sur laquelle on peut effectuer un suivi des modifications. La première maquette a été faite en partant de celle de l'ingénieur mais en avançant dans le projet, les différences sont devenues trop importantes pour continuer avec comme base la maquette de l'ingénieur.

Les détections d'interférences sont faites sur Glue avec l'entrepreneur général. Cependant pour les régler, la communication se fait souvent par téléphone ou de vive voix et non via la plateforme de partage. Il existe un problème au niveau de la coordination. En électricité, il modélise avec les maquettes de tous les autres corps de métiers en fond, alors qu'en ventilation, l'entrepreneur étant entré plus tôt dans le projet, la modélisation n'est faite rapport aux maquettes architecture et structure. Ceci crée des problèmes d'interférences avec les autres entrepreneurs spécialisés.

Faits

Selon le dessinateur, le projet « marche à l'envers ». Il modélise tel que spécifié dans le contrat avant de revoir sa modélisation en faisant une visite de chantier pour modéliser ce qui a été construit. Il avise par la suite les ingénieurs par courriel pour avoir une validation. Lorsqu'il propose des changements il communique avec l'ingénieur par téléphone et courriel.

Il utilise une tablette pour faciliter les relevés des modifications faites sur chantier. Une modélisation de tous les composants est effectuée pour faciliter la compréhension et la coordination, et sera livré dans le TQC. En effet le client souhaite pouvoir naviguer dans la maquette pour connaître l'emplacement des systèmes.

Faits

Le concept des ingénieurs ne peut pas être détaillé en raison des nombreux changements. Une vision globale avec les équipements et leur localisation suffit, c'est par la suite l'entrepreneur qui les agence précisément et fournit un TQC.

Maquettes des professionnels

Il faudrait revoir les modes contractuels afin de faciliter la communication et le suivi avec les ingénieurs. Ces derniers devraient travailler à partir d'une maquette faite par les entrepreneurs lors de la phase de construction. Les avis de changements seraient alors émis à partir de la maquette coordonnée de l'entrepreneur et représentative de la réalité.

Contrats

Attentes

Elec_3 :

Présentation

Elec_3 est une entreprise familiale de 22 salariés, effectuant des projets commerciaux, aussi bien pour des clients publics que privés, avec une spécialisation en alarme incendie, intercom, intrusion, distribution électrique de moyenne et grosse envergure. N'ayant pas d'ingénieurs, l'entreprise ne soumissionne qu'à des contrats en DBB. La rencontre s'est déroulée avec le chargé de projet effectuant aussi les estimations et achats.

Expérience

L'entreprise n'a jamais travaillé sur des projets comportant un volet BIM. L'entreprise n'a jamais eu à faire à des maquettes et n'a pas de dessinateur. Le chargé de projet ne voit pas quels bénéfices il pourrait tirer avec des soumissions sur des projets ayant un volet BIM.

Connaissances
théoriques

Les notions de LOD et PGB ne sont pas connues. L'entreprise a reçu une séance d'information sur la BIM et une introduction aux méthodes d'intégration dans les projets lors d'une rencontre entre professionnels.

PGB et LOD

Pour la coordination sur plans 2D, cela fonctionne sur le même principe qu'à avec les maquettes, c'est l'entrepreneur général qui coordonne le projet. Cependant, l'entrepreneur rencontré soumissionne pour des projets où il n'y a que de l'électricité, ou comportant une partie mineure en plomberie et dans ce cas, c'est lui qui coordonne l'ensemble.

Faits

Même si une implantation du BIM n'est pas prévue, l'entrepreneur s'est tout de même penché sur les avantages potentiels pour son entreprise et a retenus celui de la coordination. Dans la majorité des cas, ce qui est construit ne correspond pas aux plans des professionnels. Aujourd'hui c'est par négociation sur chantier que la coordination se règle, la pré-coordination peut être un avantage conséquent.

Faits

Processus de collaboration

L'entrepreneur voit plus de difficultés que d'avantages à l'implantation du BIM. Le personnel actuel n'est pas habile avec les nouvelles technologies, le BIM bouleverserait les habitudes et façons de travailler même s'il semble inévitable qu'une implantation dans l'entreprise surviendra dans le futur. Lorsque les électriciens sortent de l'école ils sont formés pour être sur chantier pas pour être concepteur ou dessinateur, ils n'ont pas de notions du BIM.

L'engagement d'un ingénieur ou d'un dessinateur est vu comme un coût. L'entreprise attend d'avoir évolué et que le BIM soit imposé par les lois contractuelles ou les clients. Aujourd'hui l'équipe n'est pas prête pour s'essayer à un projet en BIM. La seule solution envisagée serait de sous-contracter les tâches de modélisation et de coordination à une firme de dessinateurs si le projet est convoité.

Les retombées du passage au BIM sont difficiles à évaluer. Le temps sauvé sur chantier par rapport au temps passé à dessiner, coordonner en amont et préparer les TQC après n'est pas facile à percevoir de même que les retombées économiques de l'embauche d'un dessinateur ou d'un ingénieur

Enjeux

Dans cette partie, les maquettes n'étant pas utilisées et les LOD inconnus, un parallèle a été fait avec les plans 2D.

En alarme incendie, intercom, intrusion l'entrepreneur réalise la conception sur plans car les éléments sont montrés mais pas le réseau de conduits. Ce n'est pas le cas en alimentation électrique où tous les éléments et réseaux de conduits sont dessinés. Il faudrait des plans avec des annotations claires et précises ne laissant aucune place à l'interprétation.

L'entrepreneurs préfère travailler à partir d'éléments génériques demandés par les professionnels et avoir de la flexibilité pour le passage des conduits. En effet, il peut être pratique d'avoir des modèles d'éléments imposés mais cela peut s'avérer problématique si l'entrepreneur a des relations privilégiées avec certains fournisseurs.

Précision

Attentes

Dans le cas d'utilisation de maquettes numériques, la crainte du chargé de projet serait de fournir un effort de modélisation trop important, avec des maquettes qui seraient trop précises en regard de ce qu'il est utile de modéliser, qui rallongerait la durée du projet en regard d'un mode de livraison traditionnel.

Craintes

« La modélisation des attaches, vis, tout ça, serait aussi long que faire le travail en tant que tel »

« Il faut que les clients ou la loi oblige à faire du BIM pour que cela s'accélère. »

Chargé de projet d'Elec_3

Entrepreneur spécialisé en structures métalliques

Mét_1

Présentation

Entreprise nord-américaine de grande ampleur travaillant pour des clients aussi bien publics que privés, avec un plus grand pourcentage de privés, et dans tous types de contrats. L'entreprise fournit des solutions, services et produits métalliques manufacturés, dans les domaines du bâtiment, des ponts et des charpentes métalliques. Ces services sont entre autres l'ingénierie, la pré-construction, la gestion de projet, l'installation ou encore le dessin qui vise à offrir des services de modélisation 3D pour les structures en acier. La rencontre s'est déroulée en présence du directeur BIM et service dessin qui, pour le volet BIM, parcourt l'entreprise pour développer et intégrer la stratégie BIM de l'entreprise. C'est un point de contact et de référence avec son équipe sur le sujet pour l'interne et externe.

L'entreprise travaille depuis la fin des années 1990 sur base de modélisation numérique afin de produire avec des machines à commande numérique. Suite à cela, dans les années 2000 de l'intelligence a commencé à être ajoutée aux maquettes pour coordonner les tâches, trouver les questions et réponses techniques ou gérer les projets. Enfin, depuis 2009, l'entreprise vend des services BIM, comme des détections d'interférences ou simulations 4D, et est devenue une référence dans le domaine.

Historique

Expérience

L'entreprise fonctionne à l'aide d'une base de données, qui est organisée autour de données contenues dans les fichiers stockés et non autour de ces derniers. Ces données sont alors délivrées suivant un modèle Juste à Temps et insérées dans les maquettes, échéanciers et données manufacturières, pour mettre à disposition les informations à toutes les personnes en ayant l'utilité.

Des plans pour utiliser l'information sont développés par l'équipe BIM, avec des cadres pour la gestion des statuts et détections d'interférences. Ces cadres sont uniquement développés pour des projets de grande ampleur car les bénéfices sont faibles pour des modélisations de quelques jours. L'équipe BIM est employée pour faire la coordination des produits à l'interne lorsqu'ils proviennent de divisions différentes.

Pratiques

« C'est le I (information) du BIM, qui est le plus important pour l'entreprise et qui doit être utilisé à tous les niveaux de la chaîne d'approvisionnement. »

Directeur BIM et service dessin de Mét_1

Les dessinateurs, l'usine, les ingénieurs, tout le monde utilise des outils reliés au BIM. A l'interne Blue Beam est utilisé pour collaborer, à l'externe ils doivent s'adapter au système imposé en raison de leur position dans la chaîne d'approvisionnement.

Logiciels, moyens

« Il faudrait alors que les mandats de dessin en acier il et en mécanique soient donnés au même moment avec une coordination entre les deux équipes. »

Directeur BIM et service dessin de Mét_1

Les notions de PGB et LOD sont maîtrisée par la personne interrogée.

PGB et LOD

Connaissances théoriques

Dans la pratique, à l'interne, le PGB n'est pas réel. Il est compris dans la gestion des processus d'affaire qui est documenté, développé et mis à jour pour toucher tous les employés. A l'interne, à l'échelle du projet des directives sont émises pour définir les procédures liées aux BIM. Les équipes se sont adaptées à ce système et travaillent alors efficacement.

Documents internes

Pour l'externe le PGB est imposé par le contracteur général ou le développeur du projet. Avec la démocratisation du BIM, les spécifications très précises pour le BIM deviennent très précises dans documents d'appel d'offre. Dans ce cas, une étude doit être faite sur la capacité de l'entreprise à répondre à ces dernières, notamment en termes d'utilisation de logiciels spécifiques.

Documents externes

Processus de collaboration

Le cas de projet le plus classique débute par la réception de l'ensemble des plans d'ingénierie de structure. L'entreprise effectue par la suite une demande pour obtenir une maquette. Si cette demande est acceptée, l'entrepreneur décide d'utiliser ou non cette maquette à ses risques suivant les résultats d'un audit interne sur la qualité de cette dernière.

Les maquettes reçues ne sont pas directement exploitables. Il faut élaborer une stratégie afin d'établir les actions qui seront effectuées à partir de la maquette. Elles peuvent être abandonnées et redessinées, converties et mises à niveau, ou de bonne qualité et utilisées tel quel. Cependant, pour des projets très complexes où des documents 2D seraient inexploitable, la soumission se fait directement en 3D. L'entreprise a ainsi déjà reçu des modèles contractuels, et exploitables dans ces cas de projets.

Dans la majorité des cas l'entreprise travaille pour l'entrepreneur général et entre donc dans le projet après celui-ci, mais la structure étant la première phase de construction, il n'y a pas de coordination avec les autres entrepreneurs spécialisés.

De plus, il est difficile de faire un effort pour coordonner la mécanique sans être payé pour cela. L'entrepreneur travaille alors sur sa partie et quand la mécanique apparait, s'il y a des problèmes, il effectue des modifications et sera payés pour cela. « Il ne faudrait pas que cela se passe ainsi mais il s'agit du seul moyen d'être payé car c'est un extra. » Même s'il arrive qu'une demande de coordination avec la mécanique soit formulée, celle-ci n'est généralement pas assez détaillée au moment où eux sont en production.

Faits

L'équipe cherche à valoriser au maximum l'information et fournis avec beaucoup d'effort pour la délivrer en Juste à Temps. Une recherche afin d'identifier les besoins en information, et non de modèle, de chaque intervenant est effectuée afin de la délivrer en fonction de leurs requis.

Enjeux internes

Il faut être capable de communiquer et travailler avec des entreprises fournissant des informations de grande valeur. En effet, l'entrepreneur a la capacité de valoriser une grande quantité d'information, mais si aucune information n'est fournie, cette capacité de partir d'une maquette d'ingénierie est perdue et il est nécessaire de la redessiner à partir de zéro.

L'entreprise cherche alors à travailler en partenariat avec des firmes de concepteurs qui sont éclairées sur la question et intéressées à collaborer. Un contrat pour le dessin mais aussi pour la réalisation avec un engagement au plus tôt est recherché pour avoir une meilleure synergie et faire du projet un succès. Dans ce cas, les ingénieurs et architectes sont souvent dépassés au niveau de la modélisation et c'est l'entrepreneur qui met à jour les maquettes et gère l'ensemble. L'entrepreneur ne cherche ainsi plus à se promouvoir auprès des entrepreneurs généraux mais plutôt au niveau des professionnels et développeurs de projet. Cependant, ce type de relation et de sélection pour les contrats ne se qualifie pas dans un contexte de plus bas soumissionnaire.

Enjeux externes

Recevoir une maquette provenant des ingénieurs avec les éléments de la structure à un LOD 300, c'est-à-dire où toutes les membrures seraient à une position réelle et finale serait avantageux. Il faudrait également ajouter au minimum les profilés sur toutes les membrures. De plus, les nuances d'acier devraient être directement rentrées dans l'objet ou mises en note avec une règle simple pour qu'il n'y est plus qu'à les filtrer et les appliquer facilement.

LOD

La meilleure manière serait de modéliser un détail avec précision, puis de faire un copié collé au niveau de tous les emplacements. Une autre solution serait de référencer ou annoter les membrures comportant des détails pour indiquer leur singularité avec un détail CAD 2D précis lié. On peut après cela dimensionner et faire un relevé de quantité sur cette base en diminuant conséquemment le risque d'erreur.

Objets

Les éléments de détails devraient être modélisés avec précision, ou non modélisés, mais pas entre les deux. Il arrive que les concepteurs fassent une modélisation des détails approximatives en 3D, puis la finisse manuellement. Ce sera alors le détail 2D qui sera à respecter et non le 3D. Dans ce cas, la maquette ne montre pas tous les emplacements et la partie modèle n'est pas valable. Il est alors nécessaire de rechercher tous ces éléments un par un dans les 2D avec un risque d'erreurs et d'oublis important pouvant être très couteux lors d'une mauvaise estimation du temps de production.

Détails

Si les ingénieurs fournissent un model a 60% pour soumission ou 80% pour soumission et demande de permis, il faudrait qu'il y ait un statu par membrure qui précise son état d'avancement. Ceci permettrait de savoir lesquelles seraient exploitables sans se baser sur une moyenne où la majorité de la structure pourrait être à 100% sauf une zone à 30% qui fait baisser cette moyenne. « Il faudrait organiser les membrures selon l'avancer du design, ce serait une révolution ». Un système de gestion d'avancement par zone restreintes avec 3 ou 4 qui statut ferait toute la différence. En y ajoutant un champ pour les commentaires sur les raisons du statut, l'entrepreneur peut gérer son risque et commencer la production des membrures.

Professionnels

Cependant, pour que cela fonctionne, il faut que la maquette devienne contractuelle. L'avantage de partir de la même maquette est de garder le même identifiant unique, même après conversion. On alors trouver les changements dans les maquettes d'ingénieurs, entre les différentes versions, pour les intégrer dans celles de construction.

Maquettes

« Tout ce que je viens de te dire n'est pas pertinent si la maquette n'est pas un élément contractuel. »

Directeur BIM et service dessin de Mét_1

Entrepreneur spécialisé en murs-rideaux vitrés, fenestrations et vitreries

Vit_1

Présentation

Vit_1 est composée de 33 employés en bureau, 25 en usine et 100 sur chantier et ayant son bureau d'ingénierie à l'interne. L'entreprise travaille majoritairement pour des clients privés en institutionnel et intentionnel-commercial y compris dans les grandes tours de condominiums. L'équipe opte pour des contrats de conception assistée et de conception de projet plutôt que pour de la soumission dans des contrats traditionnels. L'entrevue s'est déroulée en présence du vice-président et fondateur de l'entreprise.

Expérience

Le BIM est une nouveauté pour l'entreprise, il n'y a eu qu'un projet réalisé avec des exigences BIM et un en cours d'exécution. La maquette est utilisée pour la visualisation et la coordination par détections d'interférences. Cependant, les machines à commande numérique utilisées ne sont pas adaptées au travail en 3D, des mécanismes de conversions pour passer en plans et élévations normalisées ont alors été implantés dans les processus et la production ne se fait pas directement à partir des informations contenues dans la maquette du BIM. L'entrepreneur possède également une entreprise proposant des services de scan laser. La modélisation à partir de scan de l'existant est ainsi largement exploité.

Pratiques

L'entrepreneur est prêt à relever le défi de réaliser tous ses projets en BIM. Il travaille sur des gros projets qui font partie du patrimoine du Québec et ne peut plus aujourd'hui travailler sur des petits projets car les frais de fonctionnement de l'entreprise sont devenus trop élevés. En effet les analyses, réunions de coordination, séquençement des méthodes de travail avec 33 personnes dont 7 dessinateurs et des directeurs de projets tous ingénieurs, donnent des frais qu'on ne peut pas rentabiliser sur des petits projets.

Projets

« Aujourd'hui ils nous ne souhaitons pas être les plus gros mais les meilleurs, et cela passe par le BIM. »

Vice-président de Vit_1

Pour les derniers projets comportant de exigences BIM, la modélisation s'est faite via Revit mais autrement les dessins sont faits sur Autocad. L'entreprise a régulièrement recours au scan laser.

Logiciels, moyens

Connaissances théoriques

Le vice-président de l'entreprise ne connaît pas les notions de PGB et LOD. Selon lui il n'est pas la personne la mieux placée pour en parler car il ne s'intéresse pas réellement aux technologies.

PGB et LOD

Pour le niveau de précision de la modélisation, l'entreprise se base sur le niveau de précision du scan laser qui est de l'ordre du millimètre.

Précision

Sur un projet actuel, la première maquette a été fournie via la plateforme de partage par le client. Cependant, l'entrepreneur a scanné le bâtiment et a refait une maquette pour la construction. Le modèle scanné a été simplifié pour faire ressortir la structure et pouvoir modéliser. La maquette a alors été soumise aux autres entrepreneurs pour qu'ils y implantent la leur. C'est alors l'entrepreneur général qui découpe et met à jour l'information sur la plateforme de partage à partir de leur maquette, ceci permet de détecter les conflits facilement.

Selon l'entrepreneur, les professionnels n'ont pas les compétences pour connaître les solutions techniques mises en place sur chantier. L'entrepreneur ne se s'est jamais servi de la maquette de conception, de plus celles-ci ne sont généralement pas fournies.

Faits

Le BIM est cher et nécessite des ressources, il faut payer pour la technologie et la formation.

Il y a un manque de temps et de ressources financières pour prévoir pour le virage du BIM. Aujourd'hui on demande de faire des projets de 6 mois en 5 avec une bonne qualité et à bas prix, c'est impossible.

Enjeux

« Est-ce que l'on est prêt à payer pour le BIM ? Est-ce que le marché est prêt ? On veut du vite, pas cher et BIM : c'est un problème de société. »

Vice-président de Vit_1

Il y a un problème pour avoir accès aux maquettes des ingénieurs, il faut signer des dérogations, personne ne souhaite avoir de responsabilité. Parfois les fonds de plan ne sont pas fournis ce qui limite les possibilités de dessiner à partir de cela. Il y a une responsabilisation des entrepreneurs. Si les professionnels fournissent leurs maquettes, ce sont eux qui prennent la responsabilité. Il faudrait une solution pour pouvoir partir des maquettes des professionnels.

Contrats

Il faut donner plus de temps aux projets pour faciliter le virage du BIM.

Politique

Pour un projet de cadre de baies vitrées, toutes les décisions doivent être prises en amont. Pour du pré-vitré, il faut prévoir 8 à 12 semaines de livraisons, cela donne des délais supplémentaires en amont du chantier pour obtenir une meilleure qualité du produit.

Qualité

Entrepreneurs spécialisés en mécanique du bâtiment

Mec_1 :

Présentation

Mec_1 est PME d'une trentaine d'employés soumissionnant dans des contrats en DBB mais proposant également des services de conception et d'installation pour des clients aussi bien publics que privés. L'entrevue a été menée en présence du premier et seul dessinateur de l'entreprise, le service de dessin étant au part avant sous-traité. Il a instauré la modélisation dans une logique BIM lors de son arrivée en 2004 et est la référence de l'entreprise pour les questions internes et externes concernant les maquettes.

Expérience

Le dessinateur n'a pas vu de différence avant/après BIM car il l'a implanté dès son arrivée. Cependant une évolution de projet en projet est perceptible, avec de plus en plus de familles créées et des maquettes plus précises. Avant son arrivée, il n'y avait pas de dessinateurs et les dessins étaient sous-traités. Le dessinateur fait la coordination au travers des maquettes et l'installation est faite sur cette base. En effet, 90% des employés de l'entreprise l'utilisent pour la visualisation, y compris au chantier. Elles sont également utilisées pour la fabrication avec un transfert de Revit vers un logiciel spécialisé en MEP.

Pratiques

L'entreprise utilise Revit et Navisworks pour la coordination et l'émission de plans et coupes pour faciliter l'installation. Des tablettes sont alors utilisées sur chantier pour les visualiser. Un logiciel spécifique MEP est utilisé pour extraire des listes de fabrication, modèles de fabrications et feuilles de fabrication à partir de la maquette. L'entreprise travaille également via BIM 360 Glue pour se coordonner avec l'entrepreneur général sur un chantier en cours, et CADMEP pour des dessins en CAD 3D.

Logiciels, moyens

Connaissances théoriques

La notion de PGB est connue, cependant, aucun document n'est développé à l'interne. L'entreprise utilise le PGB de l'entrepreneur général pour ses projets actuels. Elle n'est pas consultée pour la mise en place de ceux-ci.

PGB

Le dessinateur connaît également la notion de LOD sans cependant donner de définition précise. Il affirme qu'il modélise toutes les pièces au niveau 400, jusqu'aux attaches et joints, pour éviter le plus d'erreur possible. Des informations telles que le modèle ou la puissance des unités y sont alors jointes.

LOD

Il n'y a pas de processus mis en place, tout passe par le dessinateur au sujet du BIM. Il modélise à partir de familles des fournisseurs, qui sont généralement prédéterminés, sauf si ce dernier n'a pas développé de famille Revit. Le dessinateur travaille à partir de la maquette de l'ingénieur qu'il met dans son gabarit avant de s'assurer de la coordination avec les autres corps de métier. Dans le cas de projet où une maquette de conception avait été produite, elle a toujours été fournie par l'ingénieur.

Faits

Cependant, ces maquettes ne sont pas complètes. En effet, le manque est vrai pour tous les projets, les ingénieurs modélisent approximativement, aucune maquette fournie n'est définitive. Les éléments sont alors modifiés et amenés à un niveau de précision plus fins. Les informations manquantes sont obtenues par le chargé de projet lors de réunions de coordination. Le dessinateur s'assure de la qualité de la maquette et ne modélise que ce qui est garanti par l'ingénieur.

Manques

Le plus gros avantage est le gain de temps apporté et la rapidité de la coordination. Cela réduit grandement le risque d'erreur de coordination, et généralement les problèmes sont par la suite dus à des oublis et non des erreurs.

Bénéfices

Pour que tout se passe bien, on doit dessiner avec le plus de détail possible. En effet, il est arrivé qu'une plaque de renfort d'acier d'une poutrelle, alors non modélisée, entre en conflit avec un conduit sur le chantier, ce qui a entraîné des retards et extras. Modéliser plus précisément offre des avantages à tous les intervenants.

A l'interne, il faudrait plus de dessinateurs en BIM. Il n'y a pas de volonté de la part des employés pour de la formation, ils se servent de la maquette uniquement pour de la consultation.

Enjeux

Même si plus de précision de la part des ingénieurs peut guider, le dessinateur préfère gérer la précision de son côté et non à partir des maquettes des ingénieurs. Les ingénieurs devraient fournir la base pour que les entrepreneurs puissent modéliser à un niveau leur permettant leurs propres usages.

En effet, les LOD à atteindre devraient être définis en fonction de leurs attentes, et non pour le PGB de l'entrepreneur général, afin de permettre au personnel sur chantier de mieux comprendre les méthodes d'installation et d'améliorer la communication.

Précision

Une modélisation avec des objets génériques permettrait alors de récupérer tout ce qui est équipement, emplacement des équipements, diffuseurs ou grilles, puis de les remplacer par les modèles des fournisseurs choisis par les entrepreneurs. De plus le dessinateur récupère les conduits de ventilation, et les finalise, mais il peut aussi les déplacer si c'est plus économique avant de demander une validation par l'ingénieur.

Une localisation générale suffirait donc, ceci laisserait la possibilité aux entrepreneurs d'optimiser l'ensemble avec leurs connaissances de terrain. Il peut être cependant intéressant d'obtenir des équipements modélisés précisément de la part des ingénieurs, même si placés approximativement, afin de gagner du temps sur les informations à ajouter à ces derniers.

Objets

MEC_2 :

Présentation

Mec_2 est une PME recherchant des projets dans lesquels beaucoup de spécial est demandé, tels que la ventilation soudée, ou les salles mécaniques. L'entreprise travaille sur des projets commerciaux et institutionnel pour des clients publics et privés, et se démarque dans des projet spéciaux, pharmaceutique, etc... L'entreprise travaille en DBB et ne cherche pas à obtenir de contrats en DB pour ne pas entrer en compétitions avec leurs clients, les ingénieurs. L'entrevue s'est déroulée en présence de quatre membres de l'équipe de direction (Voir tableau 1 page 20)

Expérience

Le BIM dans l'entreprise consiste en l'intégration d'éléments mécaniques dans le bâtiment par une coordination géométrique avec les maquettes d'architecture et de structure. L'entrepreneur s'arrête alors aux limites physiques des objets pour effectuer leur intégration dans les bâtiments et ne cherche pas à faire des calculs ou optimiser les performances.

Pour un projet en cours de réalisation et comportant de nombreuses exigences BIM, une distinction est faite entre BIM *dessin*, *coordination* ou *documentation*. Le terme BIM *documentation* est utilisé pour définir les processus de partages d'information sur une plateforme qui centralise tout ce qui est nécessaire à la réalisation du projet comme les courriels, maquettes ou dessins d'atelier. Sur ce point, ce projet marque une rupture avec les précédents.

Pratiques

La coordination avec l'entrepreneur général est faite via BIM 360 Glue. L'entreprise modélise sur Autocad MEP et Revit. Pour un projet aux Etats-Unis, l'entreprise a travaillé avec un site web avec accès restreint comme base pour la collaboration, cependant plus aucun document n'a été accessible pour archive lors de la coupure des accès à la fin du projet.

Logiciels, moyens

Connaissances théoriques

La notion de PGB n'est pas connue dans l'entreprise. Elle n'est pas consultée pour l'établissement des documents et procédure qui lui sont alors imposées.

PGB

La notion de LOD est de même inconnue. Lorsque de la modélisation leur est demandée, l'équipe n'a pas accès aux grilles des requis définissant le niveau de précision auquel modéliser. Une modélisation au plus près possible de la réalité est alors effectuée.

LOD

Des maquettes sont fournies par les architectes et ingénieurs structure, cependant, aucun modèle 3D n'a jamais été fournis par les ingénieurs en mécanique. L'entrepreneur modélise alors lui-même les systèmes, avec la bonne géométrie, afin de pouvoir se coordonner avec les autres disciplines et ainsi planifier l'intégration des systèmes. Il n'y a pas de cadre clair établi pour la modélisation mais des requêtes, comme de l'ajout d'information technique, sont formulées par le client. En effet, aujourd'hui il n'existe pas de cadre défini à grande échèle mais uniquement vaguement défini par projet.

Faits

Ce sont les entrepreneurs généraux et les professionnels qui fournissent tous les documents et les maquettes. L'entrepreneur se manifeste uniquement en cas d'avis de changement entraînant des conflits avec sa discipline. Il envoie alors des questions-réponses-techniques aux ingénieurs relatives à ces avis de changements avant d'effectuer des modifications. Cependant, la tâche de coordination avec les éléments alentours devrait revenir à l'entreprise ayant émis l'avis de changement.

Il faudrait que les informations présentes dans les maquettes soient vérifiées car les logiciels utilisés permettent d'en entrer une quantité considérable. En effet, la réalité ne correspond que rarement à ce qui est visible dans les maquettes. Il y a trop d'addenda, d'informations à mettre à jour.

Informations

« C'est un rêve de croire que l'on soumissionne avec des plans finis ».

Directeur estimation ventilation
de Mec_2

Le BIM sert principalement aux coordinateurs en leur permettant de s'assurer qu'il n'y ait pas de conflits. C'est par la suite que les entrepreneurs devraient entrer dans le projet, cependant cela suppose que les ingénieurs et architectes aient terminés leur conception en 3D avant coordination. Or, les documents reçus ne sont pas complets, en effet, les contraintes ne sont pas établies définitivement pour la soumission. Les projets vont trop vite et les entrepreneurs commencent à travailler avant une conception définitive. Le projet évolue alors avec le chantier ce qui entraîne des extras. La rapidité de la communication permise par l'utilisation des technologies enlève le temps de réflexion nécessaire à l'humain.

Enjeux d'intégration

« Il y a de grands enjeux d'intégration, c'est une nouvelle façon de travailler ».

Dessinateur en chef de Mec_2

Le BIM a un coût important, pour un projet d'un milliard, cinq millions étaient des coûts directement liés au BIM. Pour ce projet, les professionnels et entrepreneurs souhaitaient travailler en suivant les méthodes du BIM, mais le client n'était pas prêt à investir dans ces coûts.

Plus généralement, les grandes entreprises sont prêtes à prendre le virage du BIM, contrairement aux entreprises plus modestes, hésitantes, généralement à cause du coût et du manque de ressources. Cette volonté peut également dépendre de la disponibilité et du support des sous-traitants pour ces petites entreprises.

Coût

Une soumission sans addendas n'existe plus alors, idéalement, il faudrait que les documents soient le plus complet possible en se donnant plus de temps en début de projet. Les documents d'ingénierie en mécanique ne sont que rarement coordonnés. En effet, il arrive que tous les conduits soient au même endroit et c'est alors à l'entrepreneur de relever les erreurs. Il faudrait effectuer la coordination à l'ingénierie.

Collaboration

Connaissances
théoriques

L'entreprise a des connaissances mais n'a pas approfondi sur la notion de PGB et n'est pas impliquée dans la création de PGB pour les projets.

Il y a également une connaissance des niveaux de détail mais pas de la notion des LOD à laquelle ils sont reliés. Des informations telles que le matériau ou les méthodes de pose sont cependant ajoutées.

PGB et LOD

Les architectes et ingénieurs structure fournissent leurs maquettes, qui souvent répondent aux attentes pour les réservations afin de pouvoir compléter les informations contenues dans les modèles des ingénieurs en mécanique. Cependant les changements ne sont pas communiqués assez vite.

L'entrepreneur crée sa propre maquette en repartant à zéro pour s'adapter aux contraintes d'installation à partir de familles de produits existants, en y ajoutant des informations comme les matériaux, moyens de fixation, suspension, etc... Il est plus difficile d'adapter une maquette d'ingénierie, et bien plus facile d'en créer une nouvelle à partir du schéma de tuyauterie et instrumentation et des volumes architecturaux et structuraux.

Maquettes

Processus de collaboration

Les maquettes des professionnels ne tiennent pas compte des contraintes d'installation, familles ou librairies utilisées par les entrepreneurs. Ces familles et librairies sont de plus utilisées par la suite pour l'approvisionnement et la préfabrication. Généralement, ces maquettes entrent en conflit et il est nécessaire pour l'entreprise de déterminer un chemin de passage pour les conduits. Enfin, lorsque des informations sont manquantes, l'entrepreneur effectue une modélisation, établit les contraintes, complète la conception, puis assure une coordination avec les ingénieurs. Par la suite, une explication sur les raisons de la modification de la conception initiale est fournie.

Faits

L'entreprise cherche à imposer le BIM aux autres entrepreneurs et aux professionnels dans ses projets. Les clients ne le proposent que très rarement. La communication via BIM 360 Glue est imposé par l'entrepreneur à l'équipe de construction. Pour l'entreprise, les bénéfices sont grands par une installation plus efficace, des travaux réalisés en atelier et moins de temps sur le chantier.

Politique

Il existe des problèmes de compatibilité entre les logiciels. La conversion entre différents formats est un exercice difficile avec des pertes d'information et ajoutant des tâches de vérification. En effet, après conversions entre logiciels n'ayant pas d'extensions communes, il est nécessaire vérifier manuellement la qualité de la maquette convertie, y compris les dimensions.

Enjeux

Attentes

Le grand nombre de logiciels crée des problèmes de conversion, il faudrait encadrer cela avec une norme adaptée à tous les corps de métiers. De plus, chaque entreprise fait son propre BIM. La qualité de la construction dépend de la qualité de la coordination, de l'environnement et de l'équipe de projet. Il faudrait alors une norme internationale pour l'exportation des documents de projets afin d'être capable de communiquer avec un même standard, y compris pour les projets internationaux.

Norme

Pour construire, il n'est pas nécessaire de renseigner des informations comme le constructeur des équipements ou le poseur, mais ces informations sont utiles pour l'exploitation par le client. Une fois que la géométrie est fournie par les entrepreneurs le client peut faire évoluer la maquette par la suite en regard de ses besoins puisque toute l'information nécessaire est disponible dans les documents du projet. L'ajout de ces informations par l'entrepreneur n'est pas justifié pour la construction.

Informations

MEC_3 :

Présentation

Mec_3 est une entreprise de grande envergure qui offre ses services dans des projets d'électricité, mécanique, plomberie et contrôle complexes. L'entreprise ne travaille que dans des contrats de DB, pour des clients aussi bien publics que privés. L'entrevue s'est réalisée en présence du vice-président et du directeur technique.

Pour l'entreprise Mec_3, le BIM permet de rendre efficace le travail de coordination et de préfabrication afin de réduire le temps sur chantier. Dans la majorité de ses projets, le BIM n'est pas une demande du client mais une proposition de l'entrepreneur qui obtient alors de plus grands bénéfices.

Politique

Expérience

L'entrepreneur modélise au plus près de la réalité dans le but d'optimiser et de faciliter l'installation. Lorsqu'elles ne sont pas disponibles, des maquettes d'autres disciplines sont recrées pour la coordination, la préfabrication et l'installation. La modélisation permet également de compléter la conception en effectuant des analyses et facilite la gestion avec un lien entre les logiciels de modélisation et d'approvisionnement pour la préfabrication.

Pratiques

L'entreprise utilise Autodesk Revit et BIM 360 Glue. Glue est principalement utilisé grâce à ses fonctions de partages de maquettes et d'accès sur appareils mobile. Les employés les plus touchés par ces nouvelles technologies sont les dessinateurs. Ils travaillent avec les ingénieurs en soutien. Plus largement, la majorité du personnel technique, avec de plus en plus de contremaitres, utilise ces nouvelles technologies et méthodes de travail.

Logiciels, moyens

« Glue est notre réseau social d'entreprise ».

Vice-président de Mec_3

Connaissances
théoriques

L'entreprise a des connaissances mais n'a pas approfondi sur la notion de PGB et n'est pas impliquée dans la création de PGB pour les projets.

Il y a également une connaissance des niveaux de détail mais pas de la notion des LOD à laquelle ils sont reliés. Des informations telles que le matériau ou les méthodes de pose sont cependant ajoutées.

PGB et LOD

Les architectes et ingénieurs structure fournissent leurs maquettes, qui souvent répondent aux attentes pour les réservations afin de pouvoir compléter les informations contenues dans les modèles des ingénieurs en mécanique. Cependant les changements ne sont pas communiqués assez vite.

L'entrepreneur crée sa propre maquette en repartant à zéro pour s'adapter aux contraintes d'installation à partir de familles de produits existants, en y ajoutant des informations comme les matériaux, moyens de fixation, suspension, etc... Il est plus difficile d'adapter une maquette d'ingénierie, et bien plus facile d'en créer une nouvelle à partir du schéma de tuyauterie et instrumentation et des volumes architecturaux et structuraux.

Maquettes

Processus de collaboration

Les maquettes des professionnels de tiennent pas compte des contraintes d'installation, familles ou librairies utilisées par les entrepreneurs. Ces familles et librairies sont de plus utilisées par la suite pour l'approvisionnement et la préfabrication. Généralement, ces maquettes entrent en conflit et il est nécessaire pour l'entreprise de déterminer un chemin de passage pour les conduits. Enfin, lorsque des informations sont manquantes, l'entrepreneur effectue une modélisation, établit les contraintes, complète la conception, puis assure une coordination avec les ingénieurs. Par la suite, une explication sur les raisons de la modification de la conception initiale est fournie.

Faits

L'entreprise cherche à imposer le BIM aux autres entrepreneurs et aux professionnels dans ses projets. Les clients ne le proposent que très rarement. La communication via BIM 360 Glue est imposé par l'entrepreneur à l'équipe de construction. Pour l'entreprise, les bénéfices sont grands par une installation plus efficace, des travaux réalisés en atelier et moins de temps sur le chantier.

Politique

Il existe des problèmes de compatibilité entre les logiciels. La conversion entre différents formats est un exercice difficile avec des pertes d'information et ajoutant des tâches de vérification. En effet, après conversions entre logiciels n'ayant pas d'extensions communes, il est nécessaire vérifier manuellement la qualité de la maquette convertie, y compris les dimensions.

Enjeux

Attentes

L'entreprise modélise pour intégrer les produits au bâtiment, c'est-à-dire pour la coordination au niveau de la construction, mais aussi pour du relevé de quantité afin de pouvoir l'utiliser pour l'approvisionnement. La modélisation est alors effectuée à un niveau de détail 400 pour permettre d'effectuer les calculs de perte de charge et est proche du modèle d'exploitation sans pour autant être à ce niveau. Les ingénieurs devraient se limiter à faire du conceptuel puis transférer les documents aux entrepreneurs afin de compléter la conception en regard des composants existants et des contraintes techniques. Cela est moins coûteux et diminue le temps global du projet, et notamment le temps de travail des ingénieurs. Il faudrait ainsi revoir le mode contractuel actuel avec moins de temps de modélisation des ingénieurs et un changement de leurs honoraires.

Professionnel

Il faudrait également une pré-coordination des professionnels en électricité, plomberies et mécanique, dont les modèles entrent généralement en conflit.

La fine coordination est par la suite l'expertise de l'entrepreneur, qui travaillerait à partir de schémas de principe comprenant des critères pour le dimensionnement des conduits. L'entrepreneur devrait dessiner la première maquette à un niveau de détail 300 en assurant une coordination avec l'ingénieur puis l'amener à un niveau 400.

Coordination

Mec_4 :

Présentation :

Présentation

Mec_4 est une PME de 350 employés spécialisée en fabrication, construction et entretien en mécanique pour divers champs d'activités de l'industrie tels que le bâtiment, la pétrochimie ou l'hydroélectricité. L'entreprise travaille aussi bien pour des clients publics que privés et est actuellement en cours de réalisation d'un projet en DB. La rencontre s'est déroulée en présence du président de l'entreprise, qui dirige les opérations en tuyauterie plomberie, engagé en 1994 comme dessinateur CAD et ayant instauré un système de d'automatisation et de préfabrication en tuyauterie. Deux dessinateurs ont également participé à l'entrevue, dont une de leur tâche consistait à assurer la compatibilité entre les logiciels interne et la plateforme de collaboration BIM de l'entrepreneur général.

Expérience

L'entreprise a commencé par dessiner en 3D, dès 1995, avec Autocad et CadPipe jusqu'à ce qu'il y ait trop d'incompatibilité avec les autres logiciels avant l'acquisition de CadWorks d'Autodesk. Pour le volet BIM, l'entrepreneur travaille souvent de manière isolée.

Les objectifs de l'entreprise pour le BIM sont de coordonner, préfabriquer, préassemblé et extraire les plans d'installation directement à partir de la maquette. Ces opérations permettent d'être compétitif, surtout en plomberie et ventilation.

Historique, objectifs

Expérience

En tuyauterie le logiciel utilisé permet d'obtenir une isométrie de fabrication ainsi qu'une liste d'achat, des dessins d'arrangement 3D détaillée, le poids des assemblages, la localisation des joints de chantier, la liste de coupe, etc... Le logiciel fournis les documents nécessaires pour les fournisseurs et installateurs, qui ont des attentes différentes.

Les derniers ajustements sont cependant faits par le contremaître au chantier qui donne des préférences pour les assemblages et découpe. La maquette est alors modifiée suivant les retours du contremaître, et un TQC est produit.

Cependant pour les projet commerciaux et institutionnel, Revit est largement utilisé par la majorité des entrepreneurs mais ce logiciel ne permet pas d'effectuer les opérations décrites précédemment, du moins en tuyauterie. Elles sont alors réalisées à l'interne avant un transfert de la maquette vers Revit pour effectuer la coordination. Il y a cependant des pertes d'intelligence comme les familles.

Pratiques

Des relevés par scan laser effectués sur chantier permettent d'intégrer l'existant et l'avancement du chantier sur les maquettes et plans 2D. Ils permettent entre autres de positionner les manchonnages ou les ouvertures dans dalles de béton. Même si cet outil a un prix élevé, plus de 30,000\$ pour le scan utilisé, son achat est justifié. En effet, pour une tour de condos le relevé laser a permis de remplacer 100h sur chantier pour 4h de dessin et une phase de contrôle. Les maquettes et relevés laser peuvent être remis au client à sa demande.

Le logiciel, CadWorks d'Autodesk, est principalement utilisé par les dessinateurs. Il arrive aux chargés de projet de consulter les maquettes, cependant, les surintendants et le personnel sur chantier ne souhaitent pas l'utiliser.

Logiciels, moyens

Connaissances
théoriques

L'entrepreneur ne connaît pas la notion de PGB. Le PGB du projet BIM sur lequel l'entrepreneur travaille actuellement est présenté mais il n'y porte pas un grand intérêt.

L'entrepreneurs a connaissance la notion de LOD. Cependant, cette notion n'est pas utilisée dans l'entreprise.

PGB et LOD

Processus de collaboration

Les maquettes et plans des ingénieurs sont transmis en début de projet. Tout est alors redessiné en 3D pour des fins d'intégration, de préfabrication, puis d'installation par processus automatisés. En DB l'entreprise émet des propositions à l'ingénieur afin d'optimiser les solutions pour les raccordements et l'arrangement de conduits.

Il faudrait que l'entrepreneur puisse travailler à partir du modèle de l'ingénieur puis le modifier suivant ses besoins. Cependant il est possible d'optimiser certains paramètres afin de réduire les coûts, ce qui n'est pas réalisable directement sur le modèle de l'ingénieur. Il faut alors réaliser du travail en double et adapter la maquette de l'ingénieur aux fonctionnalités du logiciel de l'entrepreneur, ce qui peut créer des manques de cohésion et erreurs.

Maquettes

Pour un projet en cours, il n'y a pas de communication au travers de plateformes de collaboration ou de maquettes. L'entrepreneur communique par courriel en y explicitant le problème et en y joignant des captures d'écrans de la maquette. La détection d'interférence et n'est pas une tâche demandée aux entrepreneurs et est faite par les ingénieurs.

Même si BIM 360 Glue reste une très bonne option pour la collaboration en ligne, il y a des incompatibilités avec les logiciels utilisés par l'entrepreneur pour certaines parties de dessin. Dès que ces problèmes d'incompatibilité seront résolus, il s'agira d'un outil de travail incontournable. En effet, l'entrepreneur ne peut pas toujours se déplacer chez l'ingénieur. De plus, il faut un endroit contrôlé pour y installer le matériel informatique nécessaire, dispendieux, donc le travail en bureau demeure la meilleure solution. Il est de même nécessaire d'être au plus près de l'usine de fabrication car il y a un contrôle qualité important effectué en grande partie par les dessinateurs en raison de leur connaissance globale du projet.

Collaboration

Processus de collaboration

Pour que l'ensemble soit efficace, il faut éprouver un besoin et faire un usage approprié des technologies. Aujourd'hui, l'entrepreneur ne pense pas avoir l'utilité d'un iPad pour les contremaîtres sur le chantier.

Avec Revit, en tuyauterie, il est possible d'inventer des produits, or, il est plus intéressant d'avoir des produits existants. Les professionnels ne se soucient pas de ce point dans leurs maquettes.

Il y a un problème important d'incompatibilité. En effet, les maquettes extraites du logiciel de l'entrepreneur ne peuvent s'ouvrir directement sur la plateforme de collaboration imposée par l'entrepreneur général. De plus, il y a des pertes d'intelligence lors des conversions de formats.

Enjeux logiciels

« Le plus gros problème reste l'incompatibilité des logiciels ».

Président de Mec_4

Il existe de plus un problème avec les appels d'offre pour les petites entreprises. En effet, tous les entrepreneurs doivent travailler sur la même base, cependant il est nécessaire d'avoir les ressources pour vérifier les documents, y compris les maquettes lorsqu'elles sont fournies. Il devient alors essentiel d'avoir des dessinateurs et ressources financières suffisantes à l'interne pour pouvoir soumissionner correctement.

L'entrepreneur rencontré a développé des outils de dessin, emploie des dessinateurs à temps plein et quand il soumissionne pour un projet, il est en concurrence avec des entreprises n'ayant pas tout cela. Son seuil de rentabilité est alors plus serré car souvent, celui qui a le prix le moins élevé est celui qui n'a pas fourni de dessins. Même si une présélection est faite sur le porte folio, le seul paramètre important pour le client reste souvent le prix.

Enjeux appels d'offres

« Il faut énormément de précision et de travail pour que tout fonctionne et pourtant le prix compte beaucoup plus que le porte folio. »

Président de Mec_4

Il faudrait des schémas d'opération les plus précis possibles. Trop d'attentions sont portées sur les vues en plan et non sur les schémas où il manque des informations, ou sur la coordination qui est déficiente dans les environnements serrés. Il faudrait de plus vérifier dimensionnellement les équivalences entre les équipements. En effet, dans les devis il est précisé que les équivalents sont approuvés, cependant, ils le sont sur le plan techniques mais pas dimensionnellement. Le devis est alors préparé pour une seule solution technique, ce qui limite la concurrence et donne des reprises de travail.

Professionnels

Attentes

En plomberie, il serait utile d'obtenir des dessin 3D précis pour les chemins principaux des systèmes mais pas pour les détails secondaires tels que les petits raccordements.

Le cas est cependant différent en ventilation car les conduit sont plus volumineux, il est alors indispensable d'aller plus loin au dessin.

Précision

« Les ingénieurs perdent un temps fou à dessiner ça alors que ça ne sert à pas grand-chose mis à part démontrer que les plans sont complets. »

Président de Mec_4

Il faudrait que tous les entrepreneurs en mécanique soient responsables de leurs travaux. En effet, actuellement la responsabilité des maquettes est attribuée à l'entrepreneur en ventilation alors qu'il n'a pas de connaissances spécifiques des codes en chauffage ou vapeur et se laisse diriger par des règles générales ce qui entraine des problèmes tardifs.

Coordination

Firme d'ingénieurs en mécanique du bâtiment, département protection incendie

Ing_1

Présentation

Ing_1 est une firme d'ingénierie conseil en bâtiment, mécanique, structure, et ouvrage d'art de 3500 employés au Québec. L'entreprise travaille aussi bien dans le privé que le publique, pour des projets commerciaux et institutionnels où ils réalisent la conception complète pour proposer un appel d'offres. L'entreprise ne travaille pas en DB mais peut prendre des contrats de sous-traitance pour des entrepreneurs en mécanique afin d'effectuer un suivi du projet et mettre à jour les plans. La rencontre s'est déroulée en présence d'un technicien principal en protection incendie, au part avant entrepreneur spécialisé en protection incendie.

Expérience

On parle du BIM dans l'entreprise depuis cinq ans mais il n'est instauré que depuis 1 an. Il y a cinq projets en cours dont certains terminés mais pas encore en appel d'offre. Le plus grand avantage attendu est la réduction des extras. La conception étant mieux coordonnée, la phase d'appel d'offre sera facilitée. Au niveau de la construction, l'entreprise souhaite mesurer les impacts avec les entrepreneurs comme le nombre d'extras, de conflits, etc...

L'équipe utilise la maquette pour avoir une meilleure compréhension du projet ainsi que pour la coordination interdisciplinaire avec beaucoup de soins apporté passage de la tuyauterie dans la maquette de structure. Ils insèrent également la maquette de l'architecte et assurent la coordination complète par des détections d'interférences. Même si l'entreprise n'en est qu'à ses début avec majoritairement une modélisation de la géométrie, des informations telles que les fiches techniques ou les paramètres de partage ont été ajoutés pour un projet de grande ampleur.

Objectifs, pratiques

Il y a eu une prise de conscience qu'une formation pour le BIM était nécessaire. Elle a commencé par une formation mise à disposition sur l'intranet. Puis onze techniciens et deux ingénieurs, dont le directeur du département, ont suivi une formation plus poussée avec une entreprise de services sur Revit MEP.

Avec le BIM, les projets sont plus long pour les ingénieurs. L'entreprise réalise la conception complète et a depuis 1 an et un gestionnaire BIM dans l'équipe qui s'est autoformé par des lectures.

Formation

L'entreprise utilise désormais Revit pour la modélisation qui a remplacé Autocad, BIM Track pour la détection d'interférences, et Unify qui est une base de données interne uniformisée pour les familles. Le logiciel Doc Matic est également utilisé sur un projet en cours pour la gestion des coûts par discipline et pour l'entretien du bâtiment. Les maquettes sont plus utilisées par les techniciens que les ingénieurs. Il faut une certaine connaissance de base avant d'être efficace.

Logiciels, moyens

Connaissances théoriques

La personne interrogée sait ce qu'est un PGB. Un PGB est utilisé à l'interne et a été monté par l'équipe BIM en consultant les techniciens. Il s'agit d'un document uniquement utilisé pour la mécanique.

A l'externe, sur un projet en cours, le donneur d'ouvrage a créé le PGB en collaboration avec une personne par bureau. Celui-ci est très complet et comporte tous les détails à fournir, nomenclatures, couleurs, etc...

PGB

L'entreprise connait et utilise les niveaux de détails, mais, même s'il y a une connaissance des LOD, ils ne sont pas utilisés. Le contenu exploitable est défini par des pourcentages d'avancement.

Les niveaux de détails sont utilisés dans tous les projets en BIM sous forme de gabarit de vue et pour l'impression. Chaque zone a sa règle, cependant le niveau de détail demandé est le même durant tout le processus de conception, il n'y a pas d'évolution. L'entreprise fonctionne alors par pourcentage d'avancement sur une maquette à un niveau de détail global et constant.

LOD

Processus de collaboration

Généralement, l'architecte débute les maquettes et est suivi par les ingénieurs structure. Par la suite, elles sont intégrées les unes dans les autres. Le technicien ouvre alors ces maquettes et modélise tout ce qui touche à la protection incendie en prenant soin d'assurer une coordination. Il y a un réel avantage de travailler 3D sur ce point. Les familles Revit des principaux fournisseurs sont mises à disposition en début de projet.

Il y a généralement plusieurs remises suivant des pourcentages d'avancement définis. Avant chaque remise le technicien réalise des détections d'interférences, qui sont effectuées à nouveau par le client lors des réunions de coordination.

Conception

Suite à la soumission, même si l'entreprise fournit sa maquette, elle lui appartient toujours. Il n'y a pas de suivis après la soumission. Cependant, pour un projet antérieur, un autre bureau d'ingénierie a réalisé la conception puis, les entrepreneurs ont engagé l'entreprise rencontrée comme sous-traitant pour finir la coordination à une fréquence hebdomadaire.

Pour les soumissions l'entreprise ne fournit que les sets de plans. Étant au part avant entrepreneur, le technicien a bien conscience que fournir la maquette en appel d'offre serait un vrai avantage pour le projet. Cependant ceci n'est pas dans leurs objectifs actuels de l'entreprise et aucune demande concrète n'a été formulée à ce sujet.

Soumission

Processus de collaboration

Les freins principaux sont une implantation et des concepts très récents, ainsi que le problème au niveau légal pour avoir accès aux maquettes pendant la phase d'appel d'offre.

Tout ce qui est fait est une première fois donc il y a toujours des ajustements à faire. La protection incendie étant un sous projet de la plomberie, il faut de plus alléger la maquette pour pouvoir travailler plus rapidement.

Un objectif serait d'atteindre le même temps de modélisation sur Revit que sur Autocad même s'il y a plus d'informations et de précisions à renseigner.

Enjeux

« Une modélisation de 2h sur Autocad est passée à 300h sur Revit. »

Technicien principal en protection incendie de Ing_1

Perspectives

En conception, les ingénieurs ont le fardeau de créer la maquette, il serait plus facile pour les entrepreneurs d'avoir à modifier une maquette que d'en créer une. L'extractions de vues isométriques et plans est par le suite très simple et il permet un réel gain de temps notamment pour la production.

Les projets devraient être globalement plus rapide avec le temps gagné en chantier même si le temps de conception pour les ingénieurs est plus long. Il serait plus avantageux pour les entrepreneurs de pouvoir consulter les maquettes dès la phase d'appel d'offre.

Le technicien voit pas d'avantage à l'utilisation des LOD pour définir le contenu exploitable en regard d'un niveau de détail associé à des pourcentages.

« Il va y avoir des besoins futurs pour gérer des équipes BIM car d'ici 5 ans il n'y aura plus de projet en CAD. »

Technicien principal en protection incendie de Ing_1

Entrepreneur général

Géné_1

Présentation

Entrepreneur général de grande envergure, rencontré dans le cadre d'un cas particulier d'un chantier sur un contrat PPP. Cette entreprise travaille pour des clients aussi bien publics que privés dans des contrats en PPP, DB, et établie des contrats dans lesquels les entrepreneurs spécialisés, et généraux ont la même responsabilité à fournir un produit tel qu'exigé par le client. Pour ce projet, l'entreprise est coordinatrice BIM et la rencontre s'est déroulée avec le coordinateur BIM pour l'électromécanique.

Expérience

Sur ses projet, l'entrepreneur construit directement à partir de la maquette, avec comme avantage majeur d'accélérer les travaux et permettre une fabrication plus rapide. Le travail avec des TQC permet de savoir en temps réel ce qui est fait et reste à faire, cela donne plus de contrôle et facilite le contrôle qualité.

Les entrepreneurs dessinent leurs propres maquettes. En effet, les maquettes des ingénieurs sont améliorées et amenées à un autre niveau exploitable pour la construction, généralement à un LOD plus haut. Les entrepreneurs spécialisés fournissent des maquettes et plans pour la coordination et ajustent la géométrie. Les maquettes permettent de valider l'intégration avec tous les acteurs. Pour la ventilation, la préfabrication est faite à partir de la maquette.

Pratiques

L'entreprise utilise 360 Glue pour la coordination entre les entrepreneurs. Les professionnels s'en servent également pour consultation et visualisation. Ce sont principalement les dessinateurs et coordinateurs BIM qui sont touchés pour l'entreprise Géné_1. Aussi, en plus des gérants de projets, la moitié des employés ont des tablettes avec un accès à la plateforme.

Logiciels, moyens

Connaissances théoriques

Les notions de PGB et LOD sont bien connues dans l'entreprise et sont utilisées dans la majorité de ses projets. Pour la modélisation, un barème par discipline est mis en place et imposé. Il est ajusté par zones et sert de base pour les exigences dans les modèles.

PGB et LOD

Selon le coordinateur BIM, les entrepreneurs spécialisés ne sont pas impliqués dans le PGB qui est élaboré par les ingénieurs, architectes et entrepreneurs généraux. Ils n'ont pas leur mot à dire. La plupart de ces entrepreneurs connaissent les niveaux de détails, et non les LOD, mais leurs connaissances dépendent fortement des projets qu'ils ont réalisés, il y a de fortes disparités.

Entrepreneurs spécialisés

Les ingénieurs et architectes fournissent les maquettes. Il y a alors deux options, partir de la maquette électromécanique des ingénieurs et remodeler sur une autre maquette avec des familles créées par les entrepreneurs. Cela se fait, en se basant sur des copier-coller et l'emplacement global des éléments. Ou tout remodeler à partir d'un concept et des espaces présents dans les maquettes d'architecture et structure.

L'architecte assure la coordination spatiale. La maquette sert de référence pour la coordination puis la construction, le respect de ce qui est modélisé sur chantier est exigé. Cela amène plus de rigueur et la maquette sert de règle de base et de référence en cas de conflit. Pour les intervenants qui ne sont pas équipés de 3D, les plans sont directement émis à partir de la maquette.

Maquettes

Il est important d'intégrer l'échéancier du BIM dans celui de chantier sans dissociation des deux. Les deux notions sont importantes mais ne sont pas forcément visibles par les entrepreneurs spécialisés. C'est d'autant plus important car les projets en *fast track*, c'est-à-dire où les zones à construire et celles modélisées doivent correspondre car tout n'est pas désigné et modélisé en début de construction, se font plus nombreux.

Planification

Il y a problème d'existence de deux maquettes, cela crée des confusions. L'enjeu principal est de savoir si c'est à l'ingénieur de modéliser pour la construction ou s'il doit seulement émettre des concepts et collaborer avec les entrepreneurs qui modéliseront.

Enjeux

« Doit-on coordonner l'architecture avec les maquettes des professionnels ou des entrepreneurs? Quelle est la bonne maquette suivant l'espace modélisé, l'usage et l'instant dans le projet? »

Coordinateur BIM de Gén_1

Il faudrait que tout ce qui est nécessaire à la compréhension soit présent : a-t-on besoin d'une ligne ou de 3D pour un conduit ? Les éléments présents ne doivent pas forcément être à leurs dimensions définitives mais avoir une coordination minimale comme l'accessibilité. L'ingénieur devrait seulement émettre des concepts tels que les espacements ou les emplacements indicatifs, et là l'entrepreneur pourrait entrer plus tôt dans le projet et commencer à modéliser plus rapidement.

Attentes

Selon le coordinateur BIM, la meilleure solution est le DB ou PPP avec une intégration au plus tôt des entrepreneurs spécialisés dans l'équipe pour la modélisation.

Contrats

« Il faudrait recruter les entrepreneurs dès le début du contrat. » Ceci est aussi possible en DBB mais se fait plus difficilement et crée des problèmes. »

Coordinateur

Pour ce type de contrats où les entrepreneurs entrent dans le projet avant la fin du concept, ils fournissent un prix maximum garanti par rapport à l'information à disposition. Il s'agit d'un risque important mais avec généralement des bénéfices non négligeables. De plus, ce mode de travail pousse à l'optimisation. Plusieurs projets de ce type ont été réalisés en électromécanique, et sans forcément à l'aide de coordonnateurs BIM, donc cela permet de responsabiliser.

Bénéfices

Fournisseur de béton

F. Bét_1

Présentation

F.Bét_1 est un fournisseur de béton multinational, qui travaille à partir de spécifications exigées dans les projets obtenus. L'entreprise est parfois consultée pour suggérer des solutions et fournit également des services de contrôle qualité, d'ouverture d'outil industriel en fin de semaine. Dans d'autres provinces canadiennes, elle fournit également de l'asphalte et offre des services de préfabrication et mise en œuvre des produits. L'entreprise travaille également avec des réseaux d'applicateurs pour des produits spéciaux, qui ont alors une exclusivité sur ces produits. L'entrevue s'est réalisée en présence d'un membre de l'équipe de direction, ingénieur et spécialiste technique (voir tableau 1 p 20).

Expérience

L'entreprise n'utilise pas les maquettes au Canada, cependant, dans d'autres pays, il y a un projet *BIM ready* avec de la création d'objet fournis sur un format utilisable dans les maquettes BIM. Au Canada, l'entreprise souhaite accompagner les fabricants, surtout en préfabrication, avec ses ressources et sa force manufacturière. L'équipe a pour objectif d'utiliser les maquettes prochainement.

L'entreprise ne travaille pas encore en BIM mais a pour objectif de l'implémenter en trois niveaux. Dans un premier temps fournir des objets avec les fiches techniques associées sous forme d'objet BIM pour qu'ils apparaissent dans les bibliothèques. Dans un second faire partie de l'écosystème du projet pour apporter son expertise au niveau des produits afin d'optimiser le coût global, et pas seulement le prix d'achat, surtout au sujet des produits spéciaux. Enfin, fournir un produit, par exemple fournir un plancher plutôt qu'un béton pour faire un plancher.

L'objectif de l'entreprise est d'atteindre le niveau 2 dans tous les pays où elle est implantée. Le département de recherche et développement travaille sur le niveau 3 et souhaite être impliqué dans le passage global de l'industrie à ce niveau.

Objectifs

L'étude pour l'utilisation des maquettes et la fourniture d'objet BIM est faite en collaboration avec les développeurs de logiciels Autodesk et Dassault Systèmes, mais aussi avec des grands groupes de construction qui souhaitent développer une plateforme pour la création d'outils numériques. F.Bét_1 travaille dans une logique *BIM Champion* afin de s'assurer que le groupe progresse au sujet de l'implémentation chez les fournisseurs. Cependant les changements que vont impliquer le passage au BIM dans l'entreprise sont encore méconnus.

R&D

L'entreprise travaille sur l'implantation de traqueurs GPS, de suivi de performance sur la production de béton, afin d'avoir une meilleure traçabilité et permettre une automatisation de ses processus mais ce n'est pas fait dans une optique BIM au Canada. En Europe l'entreprise a pour objectif de rendre obligatoire certains systèmes de traçabilité des matières premières dans les maquettes BIM.

Technologie

Le spécialiste technique connaît la notion de PGB et LOD, étudiés lors de sa maîtrise, mais n'a pas travaillé sur le sujet pour Lafarge.

PGB et LOD

Les architectes et ingénieurs ne fournissent pas leurs maquettes, le fournisseur de matériaux n'a pas son mot à dire pour les maquettes. L'entreprise ne travaille pas sur base de maquette. En effet, les outils de modélisation ne sont pas aujourd'hui adaptés aux produits continus, coulés en place. Le travail avec les maquettes s'applique pour de la préfabrication mais pas pour de la fourniture de matériaux. L'entreprise modélise cependant ses produits comme des murs pour qu'ils puissent être présents dans les maquettes.

Faits

Les demandes liées au BIM dans les appels d'offre ne touchent que les entrepreneurs, la demande n'arrive pas jusqu'aux fournisseurs et elle n'est jamais relayée par les entrepreneurs.

Le BIM permet d'avoir des études plus complètes et globale. Cependant, les acteurs des projets ne pensent pas au coût global, aux coûts liés au développement durable ou aux performances énergétiques mais uniquement aux coûts de construction. On demande alors aux fournisseurs de fournir les matériaux le moins cher possible plutôt qu'un produit performant.

Enjeux

« Il ne faut pas faire un protocole pour calculer rapidement le coût de construction le plus faible pour un bâtiment. Ce qui est bien dans le BIM se sont les variantes, la vision globale, la réactivité. »

Directeur qualité et développement de produits de F.Bét_1

Il n'y a pas de connexion entre les outils de gestion d'usine et les outils de gestion de projet de bâtiment chez les fournisseurs. Ceci existe seulement pour une usine intégrée au site de projet mais il s'agit un cas très spécifique. De plus les outils et méthodes du BIM facilitent le travail mais leur mise en place est complexe.

Il manque énormément d'informations dans les standards pour pouvoir valoriser les objets des fournisseurs car il n'y a pas de fonctionnalités dans le BIM pour les matières première. En effet, pour le béton, il est impossible de valoriser une chaleur d'hydratation, une rhéologie ou un temps de prise, la logique est plutôt orientée sur les produits manufacturés. Un outil a été développé à l'interne pour pouvoir transférer les caractéristiques des matériaux aux maquettes, mais la gestion de l'information des outils BIM ne permet pas de les exploiter. Elles peuvent alors uniquement être ajoutées aux objets sous forme de notes.

Difficultés informatiques

« Comment peut-on mettre tous les attributs sur le produit brut de manière globale en regard du transport, du bâtiment cible etc... plutôt que dans l'objet fait de béton? »

Directeur qualité et développement de produits de F.Bét_1

La difficulté avec le béton est qu'il a d'autres fonctions que de la mécanique. Il y a alors deux logiques, fournir des objets finis spécialisés en s'assurant qu'il n'y est pas d'interaction, ou des objets complexes en interaction et à forte valeur ajoutée. Pour cela, il est nécessaire de découpler les disciplines. Collaboration

« Les choses se sont débloquent en Europe lorsque des sociétés de services ont modélisés pour les entrepreneurs, les manufacturiers et les fabricants. »

Directeur qualité et développement de produits de F.Bét_1

Perspectives

Il faudrait qu'un acteur fort impose la transition vers le BIM. Il ne faudrait cependant pas d'imposition des logiciels mais opter pour une harmonisation des pratiques. C'est un problème que l'observe avec l'imposition du BIM par les donneurs d'ordres.

L'échelle d'évolution de l'industrie de la construction est de 30 ans. Il faut des outils, des réglementations et un renouvellement des ingénieurs pour arriver au niveau de l'aéronautique.

« Il ne faudrait pas créer une version québécoise isolée du reste du monde au niveaux de la formation, des outils et des standards utilisés pour le BIM. »

Directeur qualité et développement de produits de F.Bét_1

ANNEXE III**QUESTIONNAIRE D'ENTREVUE SEMI-DIRIGÉE - PHASE 1**

Date : _____ Nom de l'entreprise : _____

Problématique : Quel est le niveau de détail requis pour améliorer les processus liés au BIM lors de la communication entre les différents acteurs et l'exploitations des maquettes pour la réalisation de la construction ?

Procédures pré-entrevue

- Rappel du projet de recherche, des objectifs et de la durée;
- Lecture du consentement et permission d'enregistrer.

Questions de démarrage

1. Quel est votre nom ? Quel est votre rôle dans l'entreprise?
2. Quelle est la spécialité et les services offerts dans votre entreprise ?
3. Dans quel type de contrats travaillez-vous (DBB, DB, clé en main) ?
 - a. Proportion privé/public
4. En quoi le BIM a eu un impact sur vos pratiques d'affaire ?
 - a. Quels ont été les changements les plus importants
5. Quelles sont les actions faites à partir de la maquette ?
 - a. À quoi vous sert-elle ?
 - b. Comment l'utilisez-vous ?
6. Quelles personnes, au sein de l'entreprise l'utilisent (chef d'équipe...) ?

- a. A quel stade du projet ?
- b. Avec quels outils ?

I. Planification des projets BIM

1. Est-ce que vous pouvez décrire :
 - a. Ce qu'est un plan de gestion BIM (PGB) ?
 - b. Ce qu'est un Level of Detail, Development (LOD) ?
 - c. Ce qu'est un Level of Information (LOI) ?
2. Est-ce que votre firme est impliquée dans la définition/préparation :
 - a. Du plan de gestion BIM (PGB) ?
 - b. Des Level of Detail, Development (LOD) ?
 - c. Des Level of Information (LOI) ?
3. Si oui, un peu, souvent, dans tous les projets ?

II. Les échanges de données

1. Qui vous fournit des maquettes ?
 - a. Après la réception des maquettes, dans un projet, comment cela se passe ?
 - i. Suite d'étapes définie ? Mises à jour ?
2. Modélisez-vous des maquettes à partir des plans des professionnels ?
 - a. Communiquez-vous au travers d'elles ?
3. Lorsque les informations fournies dans les maquettes sont incomplètes, comment procédez-vous pour les compléter ?
 - a. Le manque d'information est-il récurrent ?
4. Quels sont les processus mis en place pour que le travail autour des maquettes fonctionne ?
5. Quels sont les enjeux d'utilisation de la maquette ?

III. Contenu des maquettes

1. Si les LODs sont connus :
 - a. Quels sont les niveaux utilisés ? Attendus ?
 - i. Pour quelles actions faites sur le modèle ?
 - b. L'échelle est-elle adaptée à vos pratiques ?
 - i. Connaissez-vous la « table d'attributs » associée aux LODs ?

2. Si les LODs sont inconnus :
 - a. Comment définissez-vous le contenu exploitable des maquettes ?
 - b. Avez-vous créé vos propres standards ?

Questions de conclusion

- Aimeriez-vous ajouter d'autres commentaires ?
- Peut-on vous recontacter pour obtenir certaines précisions ?

ANNEXE IV

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

**Formulaire d'information et de consentement pour une entrevue semi-dirigée
« Évaluation du niveau de développement des maquettes numériques du BIM pour les
sous-traitants de la construction au Québec »**

Présentation de l'équipe de recherche

Cette recherche est réalisée dans le cadre du projet de maîtrise de Valentin Marchioni, dirigé par Daniel Forgues, directeur du Groupe de recherche en intégration et développement durable en milieu bâti (GRIDD) au département de Génie de la Construction de l'École de Technologie Supérieure (ÉTS), et en collaboration avec Luc Martin, vice-président exécutif de la Corporation de Entrepreneurs Généraux du Québec (CEGQ). Vous pouvez joindre les membres de l'équipe aux adresses courriels suivantes : valentin.marchioni@gmail.com, daniel.forgues@etsmtl.ca, lmartin@cegq.com.

Objectif général du projet

L'objectif général du projet est d'évaluer les niveaux d'information et de détail, contenus dans les maquettes numériques produites par les professionnels, requis par les entrepreneurs spécialisés du Québec. Les données recueillies lors d'entrevues permettront de tirer les besoins de ces entrepreneurs jusqu'aux concepteur afin qu'ils puissent fournir des modèles offrant la possibilité d'émettre des soumissions comparables lors de la phase d'appel d'offre. Elles permettront de même d'établir un cadre de niveau de développement (défini par l'acronyme anglais LOD) afin de cadencer la production et les échanges d'informations, et ainsi réduire le gaspillage engendré par la qualité variable de l'information numérique produite au long des projets. Les fonds utilisés pour mener à bien ce projet sont issus d'une bourse MITACS Accélération.

Clicours.COM

Déroulement de l'entretien

- L'entrevue aura une durée d'environ 30 minutes.
- L'entrevue sera enregistrée pour faciliter la retranscription et l'analyse du contenu des réponses.
- L'entrevue sera basée sur un questionnaire d'une quinzaine de questions portant sur les thèmes suivants : Les concepts et définitions utilisés, les échanges de données, et les attentes de contenu des maquettes numériques

Avantages, risques ou inconvénients possibles liés à votre participation

Les principaux avantages résident dans votre implication dans le développement d'un guide visant à faire connaître les besoins des entrepreneurs spécialisés, c'est-à-dire vos besoins, dans le cadre d'un projet de construction impliquant l'utilisation de maquettes numériques. Par la même occasion, votre participation permettra l'avancée des connaissances dans un domaine encore peu exploré.

Les inconvénients sont un possible inconfort lié au fait d'être observé durant l'entretien, ainsi que l'utilisation de votre temps lors des entrevues.

Participation volontaire et droit de retrait

Vous êtes libre de participer à ce projet de recherche, en d'autres termes, vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure. Par ailleurs vous être libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche sans conséquence négative ou préjudice et sans avoir à justifier votre décision.

Confidentialité

Durant la recherche, la confidentialité des documents, enregistrements audio et informations recueillies sera assurée en protégeant les données sous clé dans un local à accès restreint. Les noms des participants ne paraîtront dans aucun rapport. Les données originales qui permettent (s'il y a lieu) d'identifier les participants seront accessibles uniquement aux membres de l'équipe mentionnés ci-haut et utilisés dans le cadre exclusif de cette recherche.

Un court résumé des résultats de la recherche sera expédié aux participants qui en feront la demande en indiquant leur adresse courriel ci-dessous.

L'adresse courriel à laquelle je souhaite recevoir un cours résumé des résultats de la recherche est la suivante : _____

Je, soussigné(e) _____ certifie avoir expliqué au signataire intéressé les termes du présent formulaire, avoir répondu à ses questions et lui avoir clairement indiqué son droit de mettre fin à son engagement en tout temps. Je lui transmettrai une copie signée du présent formulaire de consentement.

Signature du chercheur

Date

Renseignements supplémentaires :

Si vous avez des questions sur la recherche, votre participation au projet, ou pour vous en retirer, veuillez communiquer avec Valentin Marchioni, Étudiant-chercheur en Maîtrise en Génie de la construction à l'ÉTS, à l'adresse courriel suivante : valentin.marchioni@gmail.com, ou au numéro de téléphone suivant : (514) 742-9671.

ANNEXE V

PROTOCOLE D'ENTREVUE ENTREPRENEUR SPÉCIALISÉ – PHASE 2

Objectif de la rencontre
Amorcer le développement d'une approche permettant d'intégrer les connaissances et les compétences en conception et en gestion des constructeurs au PGB.

- **Mise en contexte**
 1. Présentation générale de l'étude (contexte, problématique et objectif);
 2. Présentation de la deuxième phase :
 - a. Volonté d'amélioration de la gestion de l'information;
 - b. Objectifs d'établir des critères de choix des LOD en fonction de paramètres à prendre en compte lors de leur établissement.

- **Participants :**
 1. Noms et rôles dans l'entreprise;
 2. Services offerts par l'entreprise dans le cadre du projet ciblé.

- **Questions :**
 1. Dans les projets pour lesquels vous recevez des maquettes BIM produites par les professionnels, quels sont les problèmes que vous rencontrez au niveau de la qualité de l'information fournie (est-elle complète, trop ou insuffisamment détaillée, etc) ? Quand la maquette est refaite par l'entrepreneur, est-ce que les problèmes sont différents ?
 - a. Comment sont résolus les conflits entre les informations sur les maquettes et sur les plans?
 - b. Exemples de situation où les maquettes sont de bonne et de mauvaise qualité.

2. Êtes-vous familier avec les concepts de PGB et LOD (sinon expliquer)? Voyez-vous un lien entre ces problèmes et la définition des LOD du fait que les sous-traitants ne participent pas dans la production des PGB ? Est-ce que la situation diffère si c'est un contrat collaboratif plutôt qu'une soumission traditionnelle sur plans et devis ?
 - a. Écart au niveau des informations;
 - b. Degré d'implication des entrepreneurs dans le PGB;
 - c. Enjeux.
 - i. Au niveau de l'accès aux informations;
 - ii. Au niveau des LOD fournis par les ingénieurs en mécanique dans les maquettes;
 - d. Utilisez-vous les QRT comme indicateurs ?
 - i. Influence sur le nombre, question fréquentes.
3. Pouvez-vous décrire la séquence d'échanges dans un projet particulier entre vous, l'entrepreneur général et l'ingénieur pour résoudre les problèmes avec la maquette de conception/produire votre propre maquette. Qui joue les différents rôles au niveau des maquettes ?
 - a. Fourniture des informations;
 - b. Coordination;
 - c. Avancement des maquettes;
 - d. Quels sont les impacts du mode d'approvisionnement;
 - e. Des changements devraient-ils être apportés ?
4. Discussion autour des points soulevés lors de la première phase (voir liste)
 - a. Ces paramètres sont-ils pertinents pour votre spécialité (voir point par point)?
 - i. Avez-vous déjà été confronté à ce type d'enjeux ?
 - ii. Comment sont-ils gérés ?
 - b. Perspectives :
 - i. Autres paramètres ?
 - ii. Comment les prendre en compte ?

1. Méthode d'application;
2. Les éléments dégagés sont-ils applicables/réalisables par rapport à la réalité des projets (influence du mode d'approvisionnement).

iii. Autres paramètres ?

- **Questions de conclusion**

1. Que diriez-vous aux professionnels pour faciliter la gestion de l'information ?
 - a. Requêtes par rapport au PGB;
 - b. Influence sur les LOD.

ANNEXE VI

PROTOCOLE D'ENTREVUE ENTREPRENEUR GÉNÉRAL, INGÉNIEUR ET ARCHITECTE – PHASE 2

Objectif de la rencontre
Amorcer le développement d'une approche permettant d'intégrer les connaissances et les compétences en conception et en gestion des constructeurs au PGB.

- **Mise en contexte**
 1. Présentation générale de l'étude (contexte, problématique et objectif);
 2. Présentation de la deuxième phase :
 - a. Volonté d'amélioration de la gestion de l'information;
 - b. Objectifs d'établir des critères de choix des LOD en fonction de paramètres à prendre en compte lors de leur établissement.

- **Participants :**
 3. Noms et rôles dans l'entreprise, services offerts par l'entreprise.

- **Questions :**
 4. Pouvez-vous décrire comment l'utilisation du BIM change la nature et la séquence d'échanges d'informations dans un projet particulier entre vous, (l'ingénieur,) (l'entrepreneur général) et les sous-traitants. Qui joue les différents rôles et comment se fait la mise à jour des maquettes ? Comment sont gérés les dessins d'ateliers dans ce processus ?
 - a. Fourniture des informations;
 - b. Coordination;
 - c. Avancement des maquettes.

- d. Quels sont les impacts du mode d'approvisionnement ?
 - e. Des changements devraient-ils être apportés ?
5. Êtes-vous familier avec les concepts de PGB et LOD (sinon expliquer)? Comment participez-vous à la définition du PGB ?
- a. Les processus définis dans le PGB fonctionnent-t-il bien en pratique ?
 - b. La notion de LOD est-elle claire ? utilisée ? Par vous et les autres parties prenantes ?
 - c. A quels niveaux sont les informations que vous ajoutez dans les maquettes?
 - i. Objets à un LOD 350, ou plus conceptuels ? Pour quels types d'objets ? Pour quelles raisons?
6. Voyez-vous des problèmes du fait que les sous-traitants ne participent pas dans la production des PGB ? Est-ce que la situation diffère si c'est un contrat collaboratif plutôt qu'une soumission traditionnelle sur plans et devis ?
- a. Connaissez-vous les attentes des sous-traitants pour le modèle ? Avez-vous relevé un écart au niveau des informations fournies et attendues ?
 - b. Utilisez-vous le nombre de QRT comme indicateurs pour mesurer la qualité des documents fournis à l'entrepreneur ?
 - i. Questions fréquentes, influence...
7. Discussion autour des points soulevés lors de la première phase avec les entrepreneurs spécialisés (voir liste) :
- a. Ces paramètres ont-ils un impact sur la modélisation ? Son cadencement ? (Voir point par point)
 - i. Avez-vous déjà été confronté à ce type d'enjeux ?
 - ii. Comment sont-ils gérés ?
 - b. Perspectives :
 - i. Comment les prendre en compte ?
 - 1. Méthode d'application;

2. Les éléments dégagés sont-ils applicables/réalisables par rapport à la réalité des projets (influence du mode d'approvisionnement) ?
 - i. Autres paramètres ?
- **Questions de conclusion :**
8. Selon vous, comment pourrait-on améliorer la gestion de l'information ? Que diriez-vous aux entrepreneurs pour faciliter la gestion de l'information ?
 - a. Requêtes par rapport au PGB;
 - b. Influence sur les LOD.

ANNEXE VII

RÉSULTATS DES ENTREVUES PHASE 2 CONDENSÉS

1. Organisation :

Séquence de travail :

- Lors d'un projet BIM, l'entrepreneur spécialisé effectue une requête auprès des professionnels par le biais de l'entrepreneur général afin d'obtenir les maquettes numériques. Un traitement préliminaire est alors entrepris : soit une adaptation à son standard de travail, soit la modélisation d'une nouvelle maquette sur base de celles des professionnels, afin de pouvoir modéliser avec ses familles d'objets pour la fabrication (LOD 400). Certains objets sont ensuite préfabriqués directement à partir de la maquette. Lorsque les maquettes de conception sont coordonnées par l'entrepreneur général avant d'être transmises à l'entrepreneurs spécialisé, son travail s'en trouve facilité.
- L'entrepreneur général a pour rôle de coordonner les différents modèles, les tâches de modélisation et d'intégrer les tâches BIM dans l'échéancier général du projet. Les entrepreneurs spécialisés modélisent à la suite des professionnels, et non simultanément, lorsque que la maquette a dépassé le stade schématique. Ils utilisent alors des objets numériques à un LOD 400.
- Le travail de modélisation de l'ingénieur et de l'architecte est en majeure partie terminée lors de l'entrée dans le projet des entrepreneurs spécialisés. De plus, même si l'utilisation des maquettes par ces derniers permet une meilleure coordination et visualisation, seuls les plans et les devis restent des documents officiels. La maquette

est fournie sur demande à titre de référence pour faciliter le travail des entrepreneurs spécialisés, notamment pour les estimations lors des soumissions.

Pour un projet effectué suivant un mode contractuel traditionnel, soit conception, soumission, construction (DBB, pour Design, Bid, Build), le BIM apporte un document supplémentaire à intégrer dans les processus de travail : la maquette numérique. Cette maquette ne rentre pas dans le cadre contractuel mais constitue un support pour la coordination et la visualisation, utile aux entrepreneurs spécialisés. Ces maquettes sont fournies par les professionnels aux entrepreneurs spécialisés par le biais de l'entrepreneur général. Il a été relevé lors des entrevues, qu'un entrepreneur général ayant une bonne expérience BIM et adaptant les maquettes numériques des professionnels pour les entrepreneurs spécialisés avant de les leur transmettre, facilite le travail de ces derniers. En effet, en effectuant une coordination entre les différentes maquettes des professionnels, l'entrepreneur général élimine une grande partie des conflits entre ces maquettes et ajoute un point de vue constructeur aux maquettes de conception.

Implication dans le PGB :

- L'entrepreneur spécialisé consulte le PGB du projet mais ne participe pas à son élaboration. Il s'agit d'un document lourd, complexe et auquel il est difficile de se référer. *« Le PGB est très complexe et très lourd à analyser, sur le dernier projet des personnes l'ont lu et se sont mise à paniquer. » (Vice-président des opérations, entrepreneur spécialisé)*
- L'entrepreneur général est toujours impliqué dans le PGB. Il peut utiliser son propre PGB pour le projet mais s'il est fourni par le client, il doit s'y conformer. Cependant, il peut discuter de certains aspects et demander des modifications dans l'intérêt du projet. L'écriture du PGB doit soutenir l'esprit collaboratif autour de l'utilisation des technologies, sans être directif.

- L'ingénieur suit son propre PGB à l'interne afin d'arriver à des honoraires jugées raisonnables. Au niveau du projet, le PGB est fourni par l'architecte ou le client, aidé d'un consultant BIM. Même si l'ingénieur ne définit pas le PGB de projet, il peut en discuter certains aspects.
- Lors de ses premiers projets BIM, l'architecte fournissait un document se rapprochant d'un PGB mais il s'agissait plus d'un document concis servant de guide à la personne en charge de la gestion de la maquette, de la coordination et des échanges d'information que d'un PGB. Désormais, des PGB précis comportant des feuilles de route pour les professionnels ainsi qu'une méthodologie pour les échanges d'informations sont produits pour chaque projet.

Le PGB, document essentiel pour cadrer les rôles et les responsabilités des intervenants, les utilisations et buts du BIM, ainsi que les processus de travail associés, est principalement fourni par le client ou l'architecte. Ce document spécifiant les LOD à utiliser, ce sont donc l'architecte et le client qui les définissent. L'ingénieur et l'entrepreneur général peuvent toutefois modifier le PGB afin qu'il cadre mieux avec la réalité du projet, ils sont donc impliqués dans le montage du PGB. Cependant, l'entrepreneur spécialisé ne dispose pas des ressources nécessaires (personnel, formation, temps) pour participer au PGB. Les recommandations et instructions émises dans ce document peuvent donc ne pas correspondre à ses attentes et ses besoins.

PGB et entrepreneur spécialisé :

- Pour l'entrepreneur spécialisé, le travail en BIM est effectif depuis quatre ans. Cependant, même si le PGB est présent dans les documents contractuels et si les appels d'offre sont mieux structurés, son appropriation par l'entreprise demeure difficile.
- Pour l'entrepreneur général, l'entrepreneur spécialisé doit participer au PGB car il s'agit d'un document obligatoire annexe au contrat. Il peut demander des modifications qui seront apportées par l'entrepreneur général si elles sont dans l'intérêt du projet.

Cependant, l'entrepreneur spécialisé ne dispose que rarement des connaissances requises pour amender le PGB car les méthodes de travail préconisées ne correspondent pas à sa façon de faire. Il ne s'implique donc pas dans le PGB.

- Pour l'ingénieur, les entrepreneurs spécialisés arrivent trop tard dans un projet traditionnel pour participer au PGB. Cela peut être différent dans le cas de projets clé en main ou en gérance, si les entrepreneurs ont les connaissances requises.
- Pour l'architecte, l'entrepreneur spécialisé peut être impliqué dans le PGB dans le cas d'un mode contractuel collaboratif. Cependant, peu d'entrepreneurs fonctionnent en suivant des standards BIM et, leur poids étant plus important avec ces modes contractuels, le BIM ne peut que difficilement s'intégrer dans l'organisation du projet.
« Les entrepreneurs spécialisés ne sont que très peu à utiliser le BIM. » (Architecte)

Les entrepreneurs spécialisés ne sont que très rarement impliqués dans le PGB. Même un entrepreneur travaillant suivant les méthodes recommandées par le BIM durant plus de quatre ans, ne participe pas à sa rédaction et éprouve des difficultés face à ce document. Ceci peut s'expliquer par leur entrée tardive dans les projets réalisés suivant un mode contractuel traditionnel, la mise en place récente de ce document et un manque de personnel formé. En parallèle, une première divergence de points de vue entre l'entrepreneur général, qui soutient que les entrepreneurs spécialisés doivent s'impliquer dans le PGB, et l'ingénieur, qui affirme qu'ils ne peuvent pas y participer pour des projets traditionnels, est relevée.

Mode de réalisation traditionnel vs collaboratif :

- Le partage d'informations est difficile en DBB car les intervenants ne sont pas habitués à collaborer. De plus, selon l'entrepreneur spécialisé, les architectes sont les plus réfractaires à collaborer.

Au contraire, avec un mode contractuel collaboratif, la communication est facilitée et la durée du projet est généralement diminuée, même si ce n'est pas forcément le cas du temps de travail de l'entrepreneur spécialisé. Cependant les professionnels sont réticents à partager de l'information au plus tôt du projet ainsi que de travailler en collaboration avec les entrepreneurs pour l'avancement des maquettes. « *Actuellement le niveau de confiance n'est pas là, les professionnels sont réticents à donner de l'information aux entrepreneurs.* » (PDG, entrepreneur spécialisé). De plus, l'ingénieur et l'entrepreneur spécialisé ne partagent pas l'information sur la même maquette, ce qui annule les bénéfices potentiels importants et crée du travail en double.

- En mode traditionnel, lorsque les entrepreneurs spécialisés ne sont pas connus en début de projet, l'entrepreneur général émet des consignes de modélisation aux professionnels afin que leurs maquettes se rapprochent des attentes des entrepreneurs. Lorsqu'ils sont intégrés au projet, les entrepreneurs spécialisés peuvent alors choisir de continuer à partir de ces maquettes ou repartir de zéro, mais tous les objets dont ils auront besoin ne seront pas présents. De plus, ils doivent passer par l'entrepreneur général et le client pour communiquer avec les professionnels ce qui alourdit les processus et allonge les délais.

En mode collaboratif, les entrepreneurs spécialisés peuvent travailler plus tôt et avec les concepteurs. Ils ont donc une influence sur les décisions prises en amont et ayant le plus d'impact.

- Pour l'ingénieur, utiliser un mode contractuel collaboratif signifie un ajout de charge de travail dont la question de la rémunération est sensible. En effet, si les entrepreneurs spécialisés sont impliqués dès le début du projet, leurs besoins vont être mieux connus mais plus nombreux. « *Le business ne marche pas de cette façon, je n'ai pas d'intérêt à avoir l'entrepreneur spécialisé avec moi au début.* » (Concepteur chargé de projet, ingénieur). Afin de favoriser la collaboration, l'ingénieur peut insérer des critères de

dimensionnement dans sa maquette et la partager avec l'entrepreneur spécialisé pour lui permettre de débiter la modélisation.

- Selon l'architecte, la mise en place du BIM est plus simple pour un projet réalisé en DBB car il dispose de plus de temps de préparation. En effet, la particularité du BIM est qu'il demande plus de temps en début de projet pour la mise en place et la paramétrisation de la maquette, temps qui se trouve réduit en mode collaboratif.

Les modes collaboratifs sont généralement réalisés en procédure accélérée ce qui raccourcit les échéanciers et place l'entrepreneur spécialisé au premier plan. L'intégration du BIM dans le projet s'avèrera difficile si l'entrepreneur spécialisé n'en a pas adopté les principes.

Au sujet du mode traditionnel, l'entrepreneur général souligne les difficultés liées au manque de connaissances des attentes et des besoins des autres intervenants et la lourdeur des processus de communication. Ce dernier point est appuyé par l'entrepreneur spécialisé qui y perçoit un frein à la collaboration. Les points de vue des interrogés diffèrent au sujet des modes contractuels collaboratifs : les entrepreneurs soulignent la facilité de communication et de collaboration alors que les concepteurs y perçoivent une augmentation de leur charge de travail dont la rémunération n'est pas garantie. De plus, l'architecte est le seul des quatre interrogés à soutenir que la mise en place du BIM est plus difficile avec des contrats collaboratifs qu'avec des contrats traditionnels en raison d'un temps de préparation réduit et de la collaboration avec des entrepreneurs non formés. Un premier problème d'alignement de maturité entre les parties prenantes d'un projet est ici mis en avant.

Même s'il y perçoit de nombreux avantages, selon l'entrepreneur spécialisé, les contrats collaboratifs ne résolvent pas l'ensemble des difficultés de communication, de confiance, de coopération et de collaboration. En effet, il soutient que les ingénieurs sont réticents à partager de l'information en début de projet et que le travail sur une maquette commune est proscrit. Or l'ingénieur affirme insérer des critères de dimensionnement dans sa maquette et la fournir à l'entrepreneur spécialisé pour qu'il puisse débiter sa modélisation avant la fin de la

conception. En lien avec la remarque précédente, cette contradiction qui peut s'expliquer par une expérience plus avancée en BIM des participants à l'étude que des entreprises avec lesquelles ils collaborent.

Avancement de la modélisation en mode collaboratif :

- Si l'entrepreneur spécialisé débute son travail de modélisation plus en amont dans un projet, il doit garder ses familles d'objets actuelles ayant un niveau de détail élevé. Il devrait travailler en collaboration avec l'ingénieur pour avancer sa maquette car très peu d'ingénieurs ont les informations techniques telles que le modèle des composants qui seront installés. De plus, arriver à ce niveau de précision dans ses documents n'aurait pas d'avantages pour l'ingénieur. Cependant, pour lui, insérer un objet générique ou précis n'augmente pas sa charge de travail et constitue la même opération. Il pourrait donc suivre les recommandations de l'entrepreneur spécialisé pour certains objets à utiliser sans fournir plus d'efforts de modélisation.
- Dans un mode contractuel collaboratif, l'entrepreneur général observe une dynamique dans laquelle les entrepreneurs spécialisés peuvent devenir des sous-traitants en modélisation des concepteurs. Ceci est rendu possible car ils peuvent être embauchés dès le début du projet et travailler en collaboration avec les concepteurs et ainsi insérer leurs connaissances en fabrication et en installation dans les modèles, même s'il n'y a que peu de détails. Cela conduit à la production de modèles plus aboutis et la conception sera mieux définie, les entrepreneurs spécialisés continueront ainsi sur la même base.
- Afin de permettre aux entrepreneurs spécialisés de débiter leur modélisation plus tôt, il faut instaurer un climat de confiance avec l'ingénieur. Celui-ci peut transmettre des maquettes incomplètes à l'entrepreneur spécialisé qui a la possibilité de s'en servir comme base de modélisation. L'entrepreneur spécialisé doit cependant rester informé de l'état d'avancement (LOD, si connu) de la maquette et ne pas créer de conflits au sujet de l'aboutissement du document reçu.

- Pour l'architecte, il serait avantageux d'intégrer les ingénieurs en amont dès le début de son travail car ils auraient plus d'implication dans les enjeux du projet. Lorsqu'ils sont appelés plus tardivement, ils sont moins responsabilisés et leur rôle n'est pas assez valorisé dans l'équipe de projet. Ils sont alors perçus comme un appui alors qu'ils font partie intégrante de l'équipe de conception. Le travail collaboratif tôt dans le projet avec les entrepreneurs spécialisé n'a pas encore été expérimenté. Mais, dans ce cas, l'architecte devrait rester aux commandes du projet afin que la conception ne soit pas redirigée vers une rationalisation, une simplification voire un appauvrissement de la proposition architecturale. En effet, même si l'entrepreneur spécialisé peut avoir un apport important en faisabilité, il perçoit le projet d'une manière très rationnelle. Il est donc nécessaire de bien communiquer les spécificités architecturales du projet et ne pas les évacuer.

La collaboration avec les entrepreneurs spécialisés pour la modélisation dès la phase de conception permet d'ajouter leurs compétences aux niveaux de la faisabilité, de la fabrication et de l'installation, dans les maquettes. Ceci entraîne la production de maquettes de meilleure qualité et une accélération des processus de modélisation. Cependant pour les concepteurs, un climat de confiance doit être instauré et une certaine hiérarchie doit être respectée afin de favoriser et de contrôler les échanges avec les entrepreneurs. Une différence de points de vue entre entrepreneurs spécialisés et ingénieurs est à nouveau remarquée. L'entrepreneur spécialisé souhaiterait recevoir des maquettes plus tôt, contenant des objets plus précis, en affirmant que cela n'ajoute pas de travail aux ingénieurs s'agissant d'objets contenus dans des bibliothèques; tandis que ces derniers acceptent de partager leurs maquettes incomplètes contenant des objets de conception, avec des critères permettant aux entrepreneurs spécialisés de débiter leur modélisation plus tôt. Selon l'ingénieur, ceci peut se faire si les entrepreneurs spécialisés s'informent du LOD des objets contenus, généralement plus bas que leurs attentes, sans créer de conflits sur cet état d'avancement.

Communication lors de conflits :

- L'entrepreneur spécialisé utilise les questions techniques (QRT, pour question-réponse technique) pour les demandes d'information lors de projets non BIM. Elles sont documentées et une gestion des délais de réponses est effectué. C'est un processus qui peut devenir lourd, or l'esprit du BIM consiste à entrer dans un système collaboratif en dépassant l'aspect légal. Dans les projets BIM les questions techniques sont donc utilisées uniquement pour des éléments cruciaux et la communication directe avec l'ingénieur est utilisée.
- L'entrepreneur générale effectue une coordination en cas de conflits et émet des rapports à l'ingénieur car ce dernier reste responsable de la conception. En cas de difficultés importante en mode traditionnel, les QRT sont utilisées. Dans un mode collaboratif, les conflits sont directement réglés entre l'entrepreneur spécialisé et l'ingénieur en réunion de coordination. Dès que l'ensemble des conflits sont réglés, l'entrepreneur général coordonne le modèle qui sera signé par toutes les parties prenantes et deviendra la référence pour la construction.
- Pour l'ingénieur, lorsque des éléments sont manquant dans la maquette, les entrepreneurs doivent se référer aux plans et devis qui sont les seuls documents contractuels. L'ingénieur peut tout de même aiguiller l'entrepreneur spécialisé à l'aide de critères pour la modélisation.
- Afin d'éviter et de régler les conflits l'architecte participe à des réunions de coordination entre professionnels, clients et gestionnaire de construction. Ces réunions traitent principalement des enjeux du projet, des changements et des documents ou modèles à produire. L'architecte ne participe cependant pas aux réunions pour la logistique de chantier concernant les entrepreneurs mais auxquelles il peut assister. Afin de favoriser la collaboration avec ces derniers il privilégie plutôt des rencontres avec les entrepreneurs novices afin de leurs exposer des enjeux qu'il est plus aisé de

visualiser en 3D. *« Des entrepreneurs qui n'ont jamais vue de 3D ont été rencontré, afin de leur montrer un enjeu que l'on voyait en 3D. Quand ils ont vu ça en 3D ils comprenaient mieux et venaient plus souvent. » (Architecte).* Ceci évite ainsi l'ajout d'extra de la part des entrepreneurs lors d'omissions dans les plans architecturaux dues à un mauvais paramétrage de la coupe alors que l'objet se trouve dans la maquette.

Pour l'ensemble des interrogés, la communication directe est préconisée pour favoriser la collaboration. L'utilisation de moyens formels comme les QRT sont réservés à des enjeux majeurs ne pouvant être réglés directement. De plus, l'ingénieur rappelle que la transmission de maquette reste une aide offerte aux entrepreneurs et que seuls les plans et devis sont contractuels.

Responsabilité de la modélisation :

- La ligne est mince entre l'ingénierie de conception et de l'ingénierie détaillée, l'entrepreneur spécialisé réalise l'ingénierie détaillée, il doit compléter la conception. Même si la transmission de maquettes partielles plus tôt dans les processus du projet permet à l'entrepreneur spécialisé d'avancer sa modélisation, celles-ci doivent être plus complètes au début de la conception détaillée. Dès lors, si le niveau d'avancement de la maquette de conception n'est pas suffisant à cette étape, des questions techniques et des avis de modification sont générés. L'ingénieur devra alors faire progresser sa maquette afin de fournir un rendu plus évolué pour que l'entrepreneur spécialisé puisse finaliser son travail de coordination. Plus le LOD est avancé lorsque la maquette de l'ingénieur est transmise, plus le travail de l'entrepreneur est rapide et facile.
- Pour l'entrepreneur général, l'utilisation de maquettes ne doit pas changer les responsabilités, les exigences d'ingénieries doivent être entrées par les ingénieurs et celles liées à l'expertise de l'entrepreneur spécialisé, par l'entrepreneur. Les entrepreneurs doivent dans tous les cas se référer aux plans et devis des ingénieurs et entrer les exigences dans leurs maquettes. Il y a aussi la possibilité de travailler de

manière collaborative pour que tous puissent être au fait des épargnes et des optimisations à faire ou de la disponibilité d'une maquette de meilleure qualité.

- Il y a un désaccord sur ce que l'entrepreneur spécialisé aimerait avoir et ce que l'ingénieur doit faire. L'entrepreneur spécialisé souhaite recevoir des maquettes contenant beaucoup de détail, ce qui n'apporte pas de plus-value à la conception. Il doit se référer au devis car la maquette est fournie à titre informative pour faciliter son travail, il n'est pas contraint de l'utiliser. L'ingénieur va plus dans le détail dans les endroits critiques que s'il y a de l'espace. Cependant il faut bien s'entendre avec l'entrepreneur car s'il manque des détails dans ces derniers endroits il peut relever le manque et l'ajouter en extra. *« Généralement on ressort le devis puis on prévient l'entrepreneur que s'il n'est pas satisfait de notre maquette il doit refaire le travail au complet. Malheureusement on est obligé d'aller vers là car ça n'a pas de fin, si on les laisse aller ils vont nous faire dessiner les tuyaux d'un demi pouce. » (Concepteur chargé de projet, ingénieur).* Il est nécessaire d'établir et de garder une même ligne de conduite au sujet de la liberté d'optimisation ou de la précision. Ceci est difficile car le PGB est qualitatif et ne traite pas des aspects aussi précis. Même si l'ingénieur souligne le niveau d'avancement de la maquette (sans forcément utiliser les LOD pour faciliter la compréhension des novices), il est certain d'être contacté au sujet de manques. Dès que les entrepreneurs spécialisés ont la maquette, ils oublient qu'ils doivent également se référer aux plans et devis.
- L'architecte a la responsabilité de la coordination ultime entre les professionnels. Dans le cas d'un projet particulier, l'architecte a également modélisé la structure. Cependant, il vise à ne plus le faire car même si la modification de la structure pour des changements architecturaux est plus rapide, cela ajoute une responsabilité pour les conflits entre la structure et la MEP qui ne concerne normalement pas l'architecte. Pour la prise de quantité par l'entrepreneur spécialisé, si l'architecte lui fournit sa maquette, l'entrepreneur peut utiliser les nomenclatures et consulter les estimés fait dans la maquette. *« 80% des tâches de l'entrepreneur sont de l'estimation, s'il arrive à se*

servir de notre maquette, on vient de lui sauver de l'ouvrage. » (Architecte).

L'entrepreneur peut redessiner sa propre maquette et effectuer une estimation à partir de celle-ci mais, l'ensemble de l'équipe de projet ayant le même objectif : le paiement du prix juste client, extraire la même quantité du même document démocratise l'information, limite les différences d'interprétation et légalise les risques de situation conflictuels.

L'utilisation de maquettes numériques dans le cadre d'un projet BIM ne doit pas changer les responsabilités des parties prenantes. Les entrepreneurs spécialisés ne peuvent demander trop d'efforts de modélisation aux concepteurs et uniquement se référer aux maquettes, ils doivent consulter les plans et les devis. Les concepteurs doivent atteindre un niveau de modélisation minimal incluant les informations relatives à leur expertise. Il n'est pas encore envisagé de délaissier les plans et les devis. Un mode contractuel plus collaboratif peut être mis en place afin de faciliter la collaboration et le partage d'informations, mais une entente doit être établie entre les acteurs et un climat de confiance instauré. Ceci conduit à la transmission de maquettes partielles, dont le niveau d'avancement est clairement défini, plus tôt vers les entrepreneurs pour diminuer la durée du projet, ou au partage d'informations telles que les relevés de quantités pour fiabiliser les estimations. Pour procéder ainsi, l'ensemble des acteurs doivent avoir un certain niveau de connaissances et d'habiletés en BIM et entrer dans une dynamique de création de bénéfices communs.

2. Processus de gestion de l'information :

Collaboration via les maquettes :

- Pour l'entrepreneur spécialisé, la communication avec les concepteurs au sujet de la collaboration avec les maquettes numériques est difficile. En effet, l'ingénieur fournit sa maquette de manière informative, sans s'impliquer, et se décharge de sa responsabilité légale. Ce n'est donc pas un travail collaboratif mais de la transmission d'informations.

- L'entrepreneur général remarque que les maquettes des concepteurs ne sont pas bien structurées et ne peuvent donc pas être réutilisées. Elles doivent être redessinées. Il observe également une réticence de la part des concepteurs à transmettre leurs documents car il est possible d'explorer l'ensemble modèle 3D et pas uniquement une coupe ou une section. Il y a donc plus de vulnérabilité, plus de risque d'erreurs et ils craignent d'être attaqués ou jugés comme incompetents. « *Les concepteurs ne veulent pas fournir une maquette trop préliminaire de peur que les entrepreneurs spécialisés se retournent contre eux.* » (Directrice BIM, entrepreneur général)
- Pour l'ingénieur, les entrepreneurs spécialisés entrent trop tard dans les projets traditionnels, la maquette est déjà terminée à 80% et il n'est plus avantageux de collaborer. Cependant, la maquette est transmise à l'entrepreneur général qui peut l'utiliser comme base pour valider celles des entrepreneurs spécialisés.
- La maquette de l'architecte est la maquette principale pour la conception car elle abrite les murs. Elle est partagée avec les ingénieurs pour leur servir de base de modélisation. Elle contient par la suite toutes celles des professionnels et l'architecte a la responsabilité de la coordination ultime entre les professionnels. Il y a peu de contact avec les entrepreneurs.

La collaboration à l'aide de maquette numérique n'est effective que pour les acteurs d'un même niveau : les entrepreneurs collaborent et se coordonnent à l'aide de leurs maquettes et les concepteurs font de même à leur niveau. Il n'y a que peu d'échanges entre ces deux groupes. Les raisons avancées sont principalement liées aux difficultés contractuelles, aux difficultés liées à la précision de modélisation et aux pratiques de travail en silo ancrées dans le secteur.

Temps de modélisation en amont :

- Pour l'entrepreneur spécialisé, plus de temps de préparation et de modélisation en début de projet est nécessaire pour son bon déroulement et l'intégration du BIM.

- L'entrepreneur général est responsable de l'échéancier, il est important de prendre tout ce qui est lié à la formation et à la modélisation en compte et ceci nécessite du temps en début de projet. De plus un plan de coordination et de modélisation a été ajouté à l'échéancier afin de sensibiliser les entrepreneurs spécialisés et leur laisser le temps nécessaire en amont du projet pour se former et se préparer.
- Le client est réticent à laisser du temps à l'ingénieur en début de projet les calculs et la réflexion, ce qui représente la majeure partie de son travail, car il ne peut en mesurer l'avancement contrairement à une maquette. Le logiciel de modélisation est utile mais pas en début de projet. Du côté de l'ingénierie mettre plus d'effort dans le dessin peut aider à faire des calculs de vérification en fin de projet. Pour l'entrepreneur il n'y a pas nécessairement de corrélation entre le temps que l'ingénieur investit dans la modélisation et ce que l'entrepreneur va pouvoir réaliser avec le modèle transmis.
- Pour l'architecte, le BIM consiste en de la programmation et de la compréhension globale qui demande un travail de réflexion approfondi avant de se lancer dans la modélisation. Plus de temps en amont est donc essentiel et une collaboration avec les ingénieurs durant cette période est bénéfique afin de s'accorder sur la structure des maquettes. De plus, on ne serait pas capable de modéliser efficacement sans réaliser des esquisses préalables et comprendre les objectifs de la modélisation. Du temps est nécessaire pour ces étapes préliminaires.

Il est important pour les entrepreneurs spécialisés de bénéficier de plus de temps de modélisation avant le début de la construction. L'entrepreneur général ajoute ce temps à l'échéancier du projet sous forme d'un plan de coordination et de modélisation. Un temps supplémentaire en amont du projet serait également bénéfique pour les concepteurs afin de pouvoir effectuer un travail de réflexion, les calculs et le paramétrage nécessaires au bon déroulement du projet BIM, avant de débiter la modélisation.

Connaissance des LOD : (cette notion appartient également à la catégorie gestion de la maquette)

- Les LOD ne sont ni connus, ni utilisés par l'entrepreneur spécialisé.
- Selon l'entrepreneur général, la plupart des acteurs comprennent LOD comme niveau de détail. L'entrepreneur applique des filtres dans les maquettes basées sur des paramètres permettant de spécifier l'information qui est définie et celle qui ne l'est pas encore pour les visualiser et ainsi remplacer les LOD. Les LOD ne fonctionnent pas actuellement car ils sont incompris. Lorsqu'on voit un modèle qui semble bien fait on peut penser qu'il est final alors qu'il peut ne pas l'être. C'est un problème de perception et d'un manque de sensibilisation.
- L'ingénieur comprend et utilise les LOD à l'interne, à l'externe ce n'est pas uniforme. Pour que les autres personnes comprennent à quel niveau on doit modéliser dans un projet, il faut mieux l'explicitier.
- L'architecte utilise le terme niveau de détail pour s'exprimer au sujet des LOD. Il utilise les LOD pour définir quels détails donner de manière à comprendre les enjeux de chaque étape afin de mettre l'énergie de modélisation au bon endroit.

La compréhension des LOD n'est pas uniforme. Si la notion semble maîtrisée par l'entrepreneur général et l'ingénieur, elle est inconnue de la part de l'entrepreneur spécialisé et est utilisée sous un terme différent chez l'architecte, ce qui peut porter à confusion. Pour éviter cela, l'entrepreneur général utilise des substituts pour afficher visuellement le LOD dans les maquettes et en faciliter la compréhension par les acteurs non formés, majoritaires dans l'industrie.

Évolution des LOD :

- L'entrepreneur spécialisé modélise avec les mêmes familles d'objets représentant les objets tels qu'ils seront installés quel que soit l'avancement du projet. La notion de LOD et de leur évolution n'est pas prise en compte. *« On n'utilise qu'une façon de mettre de l'information dans une maquette, il s'agit toujours de la même information, des mêmes blocs, des mêmes familles, des mêmes pièces de fabrication qui seront insérés dans une maquette qu'elle soit à un niveau préliminaire, intermédiaire ou avancé. »* (Vice-président opérations, entrepreneur spécialisé)
- Selon l'entrepreneur général, il est impossible de faire évoluer un objet à un niveau très schématique vers un niveau détaillé dans les familles Revit, Revit étant le logiciel le plus utilisé. Les entrepreneurs spécialisés doivent donc refaire un modèle en utilisant la maquette de conception comme base en arrière-plan. Les entrepreneurs spécialisés ont l'habitude de dessiner avec leurs objets prêts à être fabriqués. N'étant pas responsable de la conception il est logique qu'ils modélisent de cette façon.
- Les projets de l'ingénieurs sont à 95% à un LOD 300 avec un mandat coordination et des détections d'interférences. Dans 5 % des projets il doit y ajouter une couche supplémentaire d'informations. Les matrices LOD sont de plus en plus présentes dans les projets mais il est difficile de s'y conformer car elles suggèrent de faire évoluer le LOD d'un niveau 100 à 300 en passant par le niveau 200. Or, lorsqu'il produit un 50% l'ingénieur ne va pas avoir 100% des éléments à un LOD 200 mais 50% des éléments à un LOD 300. Les éléments importants vont donc progresser vers un LOD plus élevé mais des familles LOD 200 ne seront pas créés, la modélisation s'effectuera directement en LOD 300.
- Pour l'architecte la définition et le choix d'évolution des LOD est un chantier ininterrompu car chaque projet est différent et le LOD ne sera pas forcément le même pour une même étape. Cette définition est cruciale surtout entre les architectes car il est

nécessaire d'avoir la même compréhension des tâches à effectuer à l'interne, des informations à fournir et à quel niveau. Le gabarit utilisé est structuré de manière à avoir une base de LOD 100 en conceptuel, LOD 200 en préliminaire et LOD 300 en exécution.

L'évolution des LOD ne semble être respectée que de la part de l'architecte. En effet, l'ingénieur commence à modéliser à un LOD 100 avant de faire progresser ses objets à un LOD 300 par ordre de priorité, sans utiliser le LOD 200, vu comme une perte de temps. La matrice LOD préconisant d'utiliser le niveau 200 ne correspond donc pas à sa réalité. La rédaction de la matrice par l'architecte ou le client peut expliquer ce décalage. L'entrepreneur spécialisé ne modélise qu'avec les objets utilisés pour la construction car il n'est pas responsable de la conception. Enfin, l'entrepreneur général pointe une difficulté logicielle qui ne permet pas de faire progresser un même objet d'un niveau à un autre sans le remplacer.

Jusqu'où modéliser ? : (cette notion appartient également à la catégorie gestion de la maquette)

- L'entrepreneur a relevé un défaut récurrent dans les maquettes des ingénieurs : la présence des réseaux de conduits sans détails. Dans ce cas, l'entrepreneur spécialisé doit installer un conduit présent dans la maquette de conception mais en suivant les détails qui sont en fin de plan. Ces détails comprennent l'ajout de clapets, de valves et peuvent avoir une influence dimensionnelle. Il doit alors redessiner l'ensemble du réseau. Il faudrait que les détails soient intégrés directement dans la maquette.
- Pour l'entrepreneur général, il s'agit d'une question difficile car les ingénieurs ne sont pas responsables du passage de la distribution et les entrepreneurs la change car ils ont d'autres critères d'optimisation. Les concepteurs ne peuvent donc pas contrôler la qualité de ce qu'ils modélisent car ils ne connaissent pas les exigences des constructeurs. « *Les concepteurs n'ont pas de contrôle qualité, un contrôle qualité consiste en plusieurs critères avec plusieurs exigences par critère pour vérifier que*

tout est bien fait suivant l'exigence du prochain utilisateur, qui n'est généralement pas connu, donc ces critères sont méconnus.» Directrice BIM, entrepreneur général). L'entrepreneur général recommande d'avoir une maquette de MEP aboutie aux niveaux de la géométrie, des distributions principales et des équipements afin de ne pas avoir à faire des modifications structurales et architecturales par la suite. La maquette doit être assez développée dans des endroits cruciaux pour qu'une coordination multidisciplinaire puisse être faite.

- L'ingénieur ne peut pas se permettre de trop modéliser pour respecter ses honoraires. Il a remarqué que les entrepreneurs spécialisés souhaitent obtenir plus de détail, en effet plus de travail de modélisation réalisé par l'ingénieur signifie moins à faire par l'entrepreneur. L'ingénieur ajoute plus de détails dans les endroits critiques. La maquette de l'ingénieur ne contient pas d'éléments qui seront prêts à construire, l'entrepreneur ne peut donc pas installer directement avec le document de l'ingénieur. De la même manière il n'y aura pas d'éléments qui seront seulement conceptuels, les dimensions les plus pénalisantes seront prises en compte dans la maquette. L'entrepreneur spécialisé doit alors tout revalider car il achète les équipements qui peuvent provenir de différents manufacturiers et donc de dimensions différentes.
- Pour l'architecte, il s'agit du nerf de la guerre. Si trop d'énergie est dépensée en modélisation, des honoraires sont gaspillés, il a alors moins d'honoraire pour des étapes suivantes qui pourraient être cruciales et en nécessitant un grand nombre. Cette question est intimement liée au LOD, il faut déterminer quelles informations ajouter ou quel détail préciser. Bien comprendre les objectifs de modélisation est alors essentiel pour une bonne gestion de l'information.

Les avis divergent au sujet du niveau de développement et de la responsabilité de la modélisation. L'entrepreneur spécialisé souhaite recevoir une maquette aboutie contenant l'ensemble des détails de conception. Or, l'ingénieur et l'architecte ne sont dans l'incapacité de fournir davantage d'efforts dans la modélisation s'ils veulent respecter leurs honoraires et

ajoutent ces détails en annexe. Un compromis est alors à établir en fonction des objectifs du BIM fixés pour le projet. L'entrepreneur général préconise de développer la maquette de conception dans les endroits cruciaux en laissant une certaine liberté aux entrepreneurs pour les parties moins critiques.

Comment améliorer la gestion de l'information ? :

- Pour l'entrepreneur spécialisé, les professionnels doivent faire confiance aux entrepreneurs et travailler en collaboration. Actuellement ils sont retissant à donner de l'information aux entrepreneurs et à leurs montrer un ouvrage incomplet par crainte que cela se retourne eux. Les professionnels ne doivent pas hésiter transmettre un document sommaire et préliminaire qui pourrait être complété par l'entrepreneur. On évoluerait ainsi vers un échange collaboratif et une intégration de forces et compétences des différentes parties prenantes.
- Dans un mode de réalisation non-collaboratif, une coordination préliminaire au niveau de la conception doit être faite par les concepteurs à l'aide de l'entrepreneur général. Dans un mode collaboratif les concepteurs et les entrepreneurs spécialisés devraient communiquer directement et coordonner leurs maquettes. Les concepteurs doivent ajouter toute l'information qu'ils spécifient dans les maquettes mais laisser certaines parties, surtout dans la distribution des systèmes, comme compétence des entrepreneurs spécialisés. Enfin, il faut s'inscrire dans un esprit collaboratif préconisé par la BIM car plus de collaboration conduit à plus d'optimisation, d'épargne de temps et de coût.
- Selon l'ingénieur, ce ne sont les échanges d'informations qui sont problématique mais le niveau d'implication des acteurs. En effet, jusqu'à récemment les entrepreneurs spécialisés faisaient une certaine partie du travail et depuis l'emploi de maquettes numériques, ils souhaitent diminuer leur charge de travail. Il faut donc qu'ils finissent la maquette et fassent les plans d'érection comme ils le faisaient avant. De plus, il faut que les parties prenantes ayant des bénéfices importants grâce à l'utilisation du BIM

paient pour le travail supplémentaire de l'ingénieur. « *Ce qu'on entend c'est que les soumissions rentrent presque 10% plus bas lorsqu'on a une maquette donc le client est gagnant, l'entrepreneur est également gagnant donc qu'il paie et qu'il fasse quelque chose pour aider à la cause.* » (PDG, ingénieur). Dans un mode contractuel collaboratif, le but pour l'ingénieur serait de créer une maquette conceptuelle réfléchie contenant les principaux éléments dans lesquels il y aurait un niveau d'information minimal pour l'entrée des entrepreneurs. À partir de là, ils pourraient la faire évoluer vers une maquette d'installation et de fabrication sans que l'ingénieur aie à fournir plus d'effort de modélisation et à faire la fine coordination finale. Ceci n'est cependant pas réalisable dans un mode contractuel traditionnel. Si les modes contractuels n'étaient pas limitants, la méthode de travail optimale consisterait à insérer toutes les informations produites par les ingénieurs dans la maquette de conception, y compris celles contenues dans les devis.

- Pour l'architecte, une meilleure gestion de l'information passe par la définition d'objectifs communs. Pour qu'un projet BIM soit une réussite il est nécessaire que toutes les parties prenantes respectent les directives et s'implique dans l'intégration du BIM. Cela débute par l'utilisation d'un même standard dès le début et tout au long du projet.

L'amélioration de la gestion de l'information réside dans la mise en place d'un climat de confiance collaboratif entre toutes les parties prenantes en assurant une coordination constante. Il ne devrait pas y avoir de crainte quant à la transmission de maquettes préliminaires et incomplètes pour permettre l'avancement global du projet grâce à l'intervention d'autres acteurs. Ceci passe par le partage des bénéfices apportés par le BIM et l'utilisation de langages, de standards communs et des modes contractuels les plus adaptés.

3. Processus de gestion de la maquette :

Qualité des maquettes reçues :

- Les maquettes des architectes ne sont que très rarement mises à disposition de l'entrepreneur spécialisé. Lorsque l'ingénieur travail en 3D et que sa maquette est disponible, elle est généralement incomplète, non coordonnée avec des conflits qu'il lui serait possible d'éviter. Il y a une amélioration de la qualité des maquettes si l'entrepreneur général intervient avant les entrepreneurs spécialisés.
- Il y a un problème majeur d'absence de maquette d'ingénieur en MEP. Le deuxième problème, lorsque les maquettes sont disponibles, est leur incomplétude et l'absence de systèmes définis. De plus les maquettes ne sont que rarement coordonnées. Tout comme les systèmes sont rares en MEP, les architectes ne créent que rarement des locaux ou des zones.
- L'ingénieur souhaite faire des calculs de charge avec les maquettes des architectes mais elles ne sont pas bien structurées en début de projet. Lorsqu'elles deviennent utilisables les calculs sont terminés. Ici l'ingénieur se rend compte qu'il exprime le même besoin que l'entrepreneur spécialisé lui exprime. *« Là je t'exprime le même besoin que l'entrepreneur a exprimé, j'aimerais que l'architecte en fasse plus pour me faciliter la vie et il dit pourquoi moi j'en ferait plus. » (Concepteur chargé de projet, ingénieur).* Il aimerait que l'architecte en fasse plus pour lui faciliter le travail mais pourquoi ce dernier en ferait-il plus. Selon lui, le mode réalisation des travaux ne correspond pas à l'utilisation du BIM.
- L'architecte fournit l'information à ceux qui en effectuent la demande et n'a pas de commentaire sur le fait que sa maquette n'est pas utilisable. Pour que cela fonctionne il faut travailler avec des partenaires avancés. Il utilise une méthode de modélisation standardisée car la maquette est utilisée pour les prises de quantité et les estimés. Or,

80% des tâches de l'entrepreneur sont de l'estimation et de la prise de quantité. Donc, s'il arrive à se servir de la maquette BIM de l'architecte, il aura une grande économie d'ouvrage.

La qualité des maquettes reçues ne correspond généralement pas aux standards de l'entreprise à laquelle elle a été transmise. Une coordination minimale n'est pas effectuée entre les concepteurs avant la transmission de leur maquette, mais ce problème peut être atténué si l'entrepreneur général traite la maquette. Les besoins mal connus des utilisateurs en aval, le travail en partenariat avec des acteurs ayant différents niveaux dans la maîtrise du BIM et dans la modélisation expliquent ce phénomène. En effet, les entreprises rencontrées ont toute une expérience de plusieurs années en BIM et les difficultés relatives sont liées à une collaboration avec des partenaires novices. De plus, il est nécessaire d'établir une discussion entre participants d'un même projet afin de connaître et d'adapter les méthodes de travail de chacun, discussion qui n'est pas toujours possible en raison de contrats inadaptés et d'une réticence à la collaboration.

Objets modélisés :

- Pour l'entrepreneur spécialisé, le LOD des objets reçus de l'ingénieur n'est pas assez évolué, car aucun ne correspond à une pièce de fabrication. Or les ingénieurs pourraient être plus précis, notamment au niveau de la plomberie car tous les éléments sont standards et normalisés, il suffit d'intégrer les pièces de fabrication comme famille à la place d'objets génériques dans les maquettes. *« Au niveau de la plomberie c'est facile car tout est standard et normalisé, il suffit d'intégrer les pièces de fabrication comme famille dans les maquettes. En ventilation chaque entreprise a ses standards mais finalement cela revient aux mêmes standards normalisés. » (Vice-président opérations, entrepreneur spécialisé)*
- Après la définition des réseaux, l'entrepreneur général recommande de spécifier quelles parties seront à modéliser et à quelle étape du projet. Ceci est valable pour les

concepteurs mais aussi pour les entrepreneurs spécialisés. Lorsque la conception n'est pas terminée, il n'est pas plus chronophage de faire les réseaux les plus importants avec plus de détail car ils sont réalisés avec des familles, il n'y a que plus de détail dans ces objets.

- L'ingénieur transmet des plans pour permettre les soumissions et c'est à l'entrepreneur de finir le travail. Il fournit des schémas et détails standards qui ne sont pas modélisés. En effet, le détail est dessiné en 2D et les informations sur ses différents lieux d'implantation sont précisées. L'ingénieur n'a pas le mandat de modéliser précisément l'ensemble du réseau et de ses détails.
- L'architecte utilise sa maquette pour ses estimés, il modélise donc en suivant un cadre strict et en utilisant les bonnes familles. La maquette qu'il transmet aux entrepreneurs contient l'ensemble des objets leur permettant de faire une estimation.

L'avis des entrepreneurs et de l'ingénieur au sujet des objets insérés dans la maquettes et de leur LOD diffère. En effet, les entrepreneurs souhaitent recevoir l'ensemble des composantes d'un réseau, incluant les détails, et avec des objets à un LOD plus élevé notamment pour les réseaux principaux. Ils soutiennent que ce travail ne serait pas plus coûteux pour les concepteurs, celui-ci se faisant au travers d'objets numériques que l'on peut préprogrammer afin qu'ils correspondent aux objets réels standards. Or l'ingénieur voit ceci comme un travail supplémentaire non rémunéré car son mandat est de fournir les éléments permettant d'évaluer le prix de l'ouvrage. Au sujet des détail techniques, insérer l'ensemble de ces composants dans la maquette n'a pas de plus-value pour la conception et représente un coût pour son entreprise. Cependant, cette tâche peut être réalisée par un ingénieur embauché comme sous-traitant en modélisation par l'entrepreneur spécialisé. L'architecte semble répondre aux besoins des entrepreneurs puisqu'il intègre à sa maquette l'ensemble des objets permettant d'effectuer des estimations.

Maquettes pour la construction :

- Il est nécessaire pour l'entrepreneur spécialisé de modifier la maquette de conception pour y intégrer les pièces de fabrication. Cela entraîne des changements importants, y compris des collisions à cause de changements dimensionnels, qui n'ont pas été prévus par l'ingénieur. L'ingénieur devrait plus avancer la modélisation pour faciliter le montage de maquette de construction, ceci dans l'intérêt du projet.
- Selon l'entrepreneur général, les entrepreneurs spécialisés réutilisent les maquettes des ingénieurs comme arrière-plan ou la modifie pour la préciser afin de la rendre utile pour la phase de construction. Ils doivent utiliser l'ensemble des informations présentes dans les maquettes, les plans, les devis. Leur maquette doit être représentative de toutes les exigences et ils doivent ajouter les données nécessaires aux objets même si celles-ci ne sont pas présentes dans ceux des concepteurs. *« Il doit regarder tous les autres documents et pas que dans la maquette transmise, les données sur les équipements doivent être ajoutées dans son modèle si elles ne se trouvent pas dans les objets dessinés par le concepteur. » (Directrice BIM, entrepreneur général)*
- Les entrepreneurs spécialisés ne sont que rarement impliqués en BIM et c'est alors l'ingénieur qui extrait les mises en plan pour les dessins d'atelier. Les informations pour les dessins d'atelier sont principalement contenues dans les documents de conception : les plans et devis.
- L'architecte s'occupe du fonctionnement théorique avant de transmettre sa maquette aux ingénieurs afin qu'ils modélisent leurs systèmes. Suite à la transmission des maquettes aux entrepreneurs, il peut y avoir des raisons de modifications car les constructeurs identifient des contraintes que les concepteurs ne connaissent pas. Une coordination est alors effectuée entre entrepreneurs et ingénieurs mais sans passer par l'architecte.

La modification des maquettes de conception par les entrepreneurs spécialisés afin de les utiliser en construction crée des changements non prévus par les ingénieurs et nécessitant une coordination entre les deux partis. Cependant, afin de limiter les erreurs, l'entrepreneur spécialisé doit utiliser les informations présentes dans l'ensemble des documents de conception pour réaliser la maquette de construction et ne pas se limiter à la maquette de l'ingénieur. S'il n'est pas capable d'extraire des documents de conception sur la base de la maquette de l'ingénieur, ce dernier peut l'effectuer. L'architecte se trouve en amont de ce processus et n'est pas impliqué dans celui-ci.

Tel Que Construit (TQC) :

- L'entrepreneur spécialisé n'a jamais eu à produire de TQC.
- Même si un TQC n'est pas demandé par le client, l'entrepreneur général essaie de pousser le marché dans le sens de la gestion des actifs via les maquettes. Donc l'ajout d'informations nécessaires à cette dernière étape par les entrepreneurs spécialisés est encouragé. Cependant, il ne leur demande pas d'entrer une grande quantité de données si un TQC n'est pas exigé.
- L'ingénieur peut être responsable de produire des TQC et doit donc affiner sa maquette. Il y ajoute les éléments dont les clients auront besoin dans le programme de gestion. Si l'ingénieur est responsable du TQC, n'y a pas de comparaison entre cette maquette et celles des entrepreneurs spécialisés, c'est l'entrepreneur général qui effectue le travail d'intégration entre les maquettes des différents acteurs. Seuls les dessins d'ateliers sont vérifiés par l'ingénieur.

Au niveau contractuel, il n'y a pas de plans clairs et définis sur la question des TQC pour des projets comportant un volet de gestion d'actifs. Il est nécessaire de préciser à qui appartient l'information, qui doit l'intégrer à la maquette et sous quel format.

- L'architecte n'a jamais eu à produire de TQC.

L'utilisation des TQC est encore méconnue et peu de clients en font la demande. Des acteurs impliqués dans la transition vers le BIM poussent cependant l'industrie vers l'utilisation des TQC mais sont peu nombreux. De plus, l'emploi de TQC étant relativement récent, ce volet n'est pas clairement défini dans les contrats.

Difficultés logicielles :

- L'entrepreneur spécialisé est confronté au besoin permanent de création de nouvelles familles d'objets même si certains fournisseurs en mettent à disposition. Beaucoup de temps est perdu pour la modélisation d'équipements majeurs qui ne sont pas disponibles.
- L'entrepreneur général n'a pas fait part de difficultés logicielles majeures lors de l'entrevue.
- Les modules de calculs en MEP ne sont pas adaptés aux besoins de l'ingénieur. Dans le logiciel de modélisation il est uniquement possible de vérifier la correspondance entre les calculs de débits exécutés et les bilans d'air effectués hors logiciels. L'ingénieur utilise Revit tout au long du projet, il n'est donc pas confronté au problème d'interopérabilité à l'interne. Cependant le changement de version annuel entraîne des problèmes car tous les éléments ne sont pas compatibles. De plus les logiciels ne disponibles qu'en location, sont très coûteux et le suivi de la part des fournisseurs est inexistant.
- Il ne faut pas que l'outil limite le travail de l'architecte. *« Il ne faut pas que le logiciel nous empêche de faire ce que l'on veut faire, il ne faut pas être menotté. » (Architecte).* Aller vers Revit signifierait pour certains une perte de créativité mais ceci s'atténue avec l'évolution du logiciel. Il est nécessaire de garder de la souplesse et ne

pas se lier à un seul logiciel. De plus le problème d'interopérabilité entre les différents logiciels est fréquent, y compris en utilisant des formats d'échange interopérables car ceux-ci ne traitent pas l'ensemble des objets et informations contenus dans les maquettes.

Les difficultés logicielles résident essentiellement dans le temps nécessaire à investir dans la création de familles non disponibles pour l'entrepreneur spécialisé. Les concepteurs sont confrontés à des limites ne leur permettant pas d'effectuer les calculs nécessaires directement dans le logiciel, à un frein à la créativité ou à des problèmes d'interopérabilité. De plus, un coût élevé et un manque de support de la part des fournisseurs a été relevé et peuvent constituer un frein à l'adoption des logiciels, et donc au BIM, pour les petites et moyennes entreprises.

BIBLIOGRAPHIE

- Aksomitas, D. (2017). LOD is wasting our time and holding BIM back. Repéré le 4 Août 2017 à <http://www.infinibim.com/lo-d-is-wasting-our-time-and-holding-bim-back/>
- Azhar, S., Ahmad, I., & Sein, M. K. (2009). Action research as a proactive research method for construction engineering and management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(1), 87-98.
- Bedrick, J. (2008, August 20, 2008). Organizing the Development of a Building Information Model. *AECbytes*, 4.
- Bedrick, J., & Davis, D. (2012). Aligning LOD, LoD and OEM into a project collaboration framework. *Journal of Building Information Modeling*, Automne 2012, 25-26.
- Ben Hassine, M., Collot, P., Dionne, J.-P., Frenette, S., & Sert, R. (2014). *Le BIM : Planifier pour mieux collaborer. Discussion sur la planification des projets en mode BIM*. GRIDD, Consortech.
Repéré à <http://gridd.etsmtl.ca/publications/2014%20rapport%20de%20rencontre%20BIM%20Consortech.pdf>
- BIM Forum. (2015). Level of Development Specification. For Building Information Model. Repéré
- BIM Forum. (2016). Level of Development Specification. LOD Spec 2016 Part I.
- Bolpagni, M., & Ciribini, A. L. C. (2016). *The Information Modeling and the Progression of Data-Driven Projects* présentée à Proceedings of the 20th CIB World Building Congress - Intelligent Built Environment for Life, Tampere, Finland.
- Brousseau, E., & Rallet, A. (1995). Efficacité et inefficacité de l'organisation du bâtiment : une interprétation en termes de trajectoire organisationnelle. *Revue d'économie industrielle*, 74(1), 9-30. doi: 10.3406/rei.1995.1594
- Carrato, P., & Wilson, D. (2016). Enhanced Levels of Development to Aid Project Delivery. Dans *IABSE Symposium Report* (Vol. 106, pp. 984-989). International Association for Bridge and Structural Engineering.
- Coleman, G. S., & Jun, J. W. (2004). *Interoperability and the Construction Process - A white paper for building owners and project decision-makers*. American Institute of Steel Construction.

- Commission de la construction du Québec. (2017). L'industrie en chiffres. Repéré le 11-05-2017 à https://www.ccq.org/fr-CA/B_IndustrieConstruction/B02_IndustrieChiffres?profil=GrandPublic
- Eastman, C. M., Teicholz, P., & Sacks, R. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Forgues, D., Staub-French, S., Iordanova, I., Kassaian, A., Abdulaal, B., Samilski, M., . . . Nepal, M. (2011). *Building Information Modelling "Best Practices" Project Report. An Investigation of "Best Practices" Through Case Studies at Regional, National, and International Levels*. Productivity Alberta. Repéré à <http://gridd.etsmtl.ca/publications/2011%20rapport%20Alberta%20T.O.P.%20BIM%20Best%20Practices.pdf>
- Forgues, D., Staub-French, S., Tahrani, S., & Poirier, E. A. (2014). *L'inévitable passage à la modélisation des données du bâtiment (BIM) dans l'industrie de la construction au Canada : Synthèse de trois expérimentations*. CEFRIO. Repéré à http://www.cefrio.qc.ca/media/uploader/Construction_TIC_Synthese_finale_mars_2014.pdf
- Gigante-Barrera, Á., Ruikar, D., Crunden, M., & Ruikar, K. (2017). LOD object content specification for manufacturers within the UK using the IDM standard. *Journal of Information Technology in Construction*, 22, 80-103. Repéré à <http://www.itcon.org/2017/5>
- Gil, N., Tommelein, I., Kirkendall, R., & Ballard, G. (2000). Contribution of specialty contractor knowledge to early design. Dans *Proc. Eighth Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Hooper, M. (2015). Automated model progression scheduling using level of development. *Construction Innovation*, 15(4), 428-448.
- Institute for BIM in Canada. (2013). *Boîte à outils d'un PxP de MDB*.
- Kang, Y., O'Brien, W. J., & Mulva, S. P. (2013). Value of IT: Indirect impact of IT on construction project performance via Best Practices. *Automation in Construction*, 35, 383-396. doi: 10.1016/j.autcon.2013.05.011
- Kent, B. J. (2014). Current BIM Practices of Commercial MEP Contractors.
- Khanzode, A. (2010). An integrated, virtual design and construction and lean (IVL) method for coordination of MEP. *Unpublished Technical Report*, 187.

- Korman, T. M., Simonian, L., & Speidel, E. (2008). Using Building Information Modeling to improve the mechanical, electrical, and plumbing coordination process for buildings. Dans *AEI 2008: Building Integration Solutions* (pp. 1-10).
- Koskela, L., Howell, G., & Lichtig, W. (2006). Contracts and production.
- Kreider, R. G., & Messner, J. I. (2013). *The Uses of BIM : Classifying and Selecting BIM Uses*. The Pennsylvania State University.
- Leicht, R., & Messner, J. (2008). Moving toward an intelligent shop modeling process. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 13(20), 286-302.
- Leite, F., Akcamete, A., Akinci, B., Atasoy, G., & Kiziltas, S. (2011). Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. *Automation in Construction*, 20(5), 601-609.
- McGraw-Hill Construction. (2012). *The Business Value of BIM in North America, Smart Market Report*.
- McPhee, A. (2013). What is this thing called LOD. Repéré sur Practical BIM à <http://practicalbim.blogspot.ca/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html>
- McPhee, A. (2016). How to define BIM Use. Repéré sur Practical BIM à <http://practicalbim.blogspot.ca/2016/01/how-to-define-bim-use.html>
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives*. De Boeck Supérieur.
- Nagapan, S., Rahman, I. A., Asmi, A., Memon, A. H., & Latif, I. (2012). *Issues on construction waste: The need for sustainable waste management* présentée à 2012 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering (CHUSER). doi: 10.1109/chuser.2012.6504333
- NATSPEC. (2013). *BIM and LOD - Building Information Modelling and Level of Development*.
- NBIMS. (2007). *National Building Information Modeling Standard Part-1: Overview, Principles and Methodologies* présentée à US National Institute of Building Sciences Facilities Information Council, BIM Committee.
- Paillé, P., & Mucchielli, A. (2016). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales-4e éd.* Armand Colin.
- Poirier, E. A., Staub-French, S., & Forgues, D. (2015). Assessing the performance of the building information modeling (BIM) implementation process within a small specialty

- contracting enterprise. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(10), 766-778. doi: 10.1139/cjce-2014-0484
- Prušková, K., & Nývlt, V. (2017). Issue of Building Information Modelling Implementation into the Czech Republic's Legislation using the Level of Development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245. doi: 10.1088/1757-899x/245/8/082026
- Pulaski, M. H., & Horman, M. J. (2005). Organizing constructability knowledge for design. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(8), 911-919.
- Sev, A. (2009). How can the construction industry contribute to sustainable development? A conceptual framework. *Sustainable Development*, 17(3), 161-173. doi: 10.1002/sd.373
- Staub-French, S., Forgues, D., Iordanova, I., Kassaian, A., Abdulaal, B., Samilski, M., . . . Nepal, M. (2011). *Building Information Modeling (BIM) 'Best Practices' Project Report*.
- Staub-French, S., & Khanzode, A. (2007). 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 12(26), 381-407.
- Tahrani, S., Forgues, D., & Poirier, E. A. (2015, 26 Mai 2015). *L'adoption du BIM et des approches intégrées au Québec* présentée à Grande rencontre BIM, Centre Mont-Royal, Montréal.
- The American Institute of Architects. (2008). *E202-2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit*.
- The Computer Integrated Construction Research Program. (2011). *BIM Project Execution Planning Guide Version 2.1*. The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA.
Repéré à
[http://classes.engr.oregonstate.edu/cce/spring2017/cce203/BIM_ExecutionPlanPennState/01_BIM_Project_Execution_Planning_Guide/01_BIM_Project_Execution_Planning_Guide_V2.1_\(one-sided\).pdf](http://classes.engr.oregonstate.edu/cce/spring2017/cce203/BIM_ExecutionPlanPennState/01_BIM_Project_Execution_Planning_Guide/01_BIM_Project_Execution_Planning_Guide_V2.1_(one-sided).pdf)
- Tolmer, C.-E., Castaing, C., Diab, Y., & Morand, D. (2017). Adapting LOD definition to meet BIM uses requirements and data modeling for linear infrastructures projects: using system and requirement engineering. *Visualization in Engineering*, 5(1). doi: 10.1186/s40327-017-0059-9
- Treldal, N., Vestergaard, F., & Karlshøj, J. (2016). *Pragmatic Use of LOD - a Modular Approach* présentée à 11th European Conference on Product and Process Modelling, Limassol, Cyprus.

- Van Berlo, L. A. H. M., & Bomhof, F. (2014). Creating the Dutch national BIM levels of development. Dans *2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, June 23, 2014 - June 25, 2014* (pp. 129-136). American Society of Civil Engineers (ASCE). doi: 10.1061/9780784413616.017.
Repéré à <http://dx.doi.org/10.1061/9780784413616.017>
- Van, J. (2012). Moving forward with LOD. Repéré sur All Things BIM à <http://www.allthingsbim.com/2012/03/moving-forward-with-lod.html>
- Winch, G. M. (2010). *Managing construction projects*. John Wiley & Sons.
- Zhang, X., Mao, X., & AbouRizk, S. M. (2009). Developing a knowledge management system for improved value engineering practices in the construction industry. *Automation in Construction, 18*(6), 777-789. doi: 10.1016/j.autcon.2009.03.004