



Analyse du potentiel du BIM en construction préfabriquée et élaboration d'un cadre d'implantation

Mémoire

Basma Ben Mahmoud

Maîtrise en génie mécanique - avec mémoire
Maître ès sciences (M. Sc.)

Québec, Canada

Analyse du potentiel du BIM en construction préfabriquée et élaboration d'un cadre d'implantation

Mémoire

Basma Ben Mahmoud

Sous la direction de :

Nadia Lehoux, directrice de recherche

Pierre Blanchet, codirecteur de recherche

Résumé

Malgré ses avantages, la préfabrication au Québec note une baisse de la productivité notamment en raison de l'inefficacité de certains de ses processus d'affaires. Parallèlement, le BIM apparaît comme une solution favorisant l'intégration des processus et des acteurs impliqués dans un projet de construction. C'est dans cette optique que s'insère cette maîtrise dont le but est de démystifier le BIM et d'étudier son impact pour faciliter son implantation dans les petites et moyennes entreprises (PMEs) québécoises de préfabrication. Pour ce faire, une revue de la littérature a été réalisée, afin d'établir un état de l'art sur l'adoption du BIM dans le monde. Ensuite, des entrevues semi-dirigées avec des experts BIM ont été tenues dans le but d'analyser l'expérience québécoise avec cette approche. Des analyses qualitatives ont dès lors été menées pour dresser un portrait de l'implantation du BIM au Québec en termes de barrières présentes et de bonnes pratiques. Puis, un sondage a été lancé auprès de manufacturiers québécois pour analyser la situation actuelle de ce secteur et adapter les recommandations à cette réalité. La phase de synthèse a permis de présenter 30 freins critiques et 31 recommandations pour les éviter. Finalement, un cadre d'implantation du BIM dans un projet de préfabrication a été élaboré, indiquant à chaque phase les acteurs impliqués et les actions à prendre. La recherche a ainsi permis de relever les barrières les plus critiques à l'adoption du BIM, de nature technologique, humaine, organisationnelle, financière et légale. Elle a également mis en relief l'importance d'analyser la situation de l'entreprise et d'évaluer ses ressources avant de faire ce virage numérique.

Abstract

Despite its advantages, prefabrication in Quebec faces a drop in productivity, due to the inefficiency of some of its business processes. Meanwhile, BIM appears as a solution that promotes the integration of processes and stakeholders involved in a construction project. It is in this perspective that this master project aims to demystify BIM and to study its impact in order to facilitate its implementation in Quebec's small and medium-sized prefabrication companies (SMEs). To do so, a literature review was conducted to establish a state of the art about the adoption of BIM around the world. Semi-structured interviews with BIM experts were held in order to analyze the Quebec position with this approach. Qualitative analyses were also conducted to study BIM main barriers and best practices. Then, a survey was launched among Quebec manufacturers to analyze the current situation in this sector and adapt the BIM best practices to this reality. The synthesis phase led to 30 critical barriers and 31 recommendations to better face them. Finally, a framework for implementing BIM in a prefabrication project was developed, indicating at each phase the players involved and the actions to be taken. The research has thus raised the most critical barriers to BIM adoption, encompassing technological, human, organizational, financial and legal challenges. It also highlighted the importance of analyzing the current situation of the company and assessing its resources before making this digital shift.

Table des matières

Résumé	ii
Abstract.....	iii
Table des matières	iv
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux	ix
Liste des abréviations, sigles, acronymes.....	x
Remerciements	xiii
Avant-propos	xiv
Introduction	1
Chapitre 1 : Revue de la littérature.....	5
1.1 Chaîne d’approvisionnement d’un projet de construction.....	5
1.1.1 Les éléments de base	5
1.1.2 Les risques associés.....	6
1.2 Préfabrication.....	8
1.2.1 Définition, historique et avantages	8
1.2.2 Particularités du secteur.....	9
1.2.3 État au Québec.....	10
1.3 La construction 4.0	11
1.3.1 Définition.....	11
1.3.2 Les piliers de la construction 4.0.....	12
1.4 Building Information Modeling (BIM).....	13
1.4.1 Brève définition	13
1.4.2 Les standards BIM.....	13
1.4.3 Les outils utilisés	15
1.5 L’application du BIM en construction et préfabrication	17
1.5.1 À l’échelle internationale.....	17
1.5.2 À l’échelle nationale.....	22
Chapitre 2 : Objectifs et méthodologie.....	25
2.1 Phase 1 : Revue de la littérature.....	26
2.2 Phase 2 : Entrevues semi-dirigées	27
2.3 Phase 3 : Sondage en ligne.....	29
2.4 Phase 4 : Synthèse et recommandations adaptées au cas d’étude.....	30

Chapitre 3 : Démystification du BIM et cadre de déploiement pour la construction préfabriquée	32
Résumé.....	33
Abstract	34
3.1 Introduction.....	35
3.2 Revue de la littérature	36
3.2.1 Définition.....	36
3.2.2 Le mode de fonctionnement du BIM.....	38
3.2.3 Les avantages et les limites BIM	41
3.2.4 Portrait des projets adaptés par le BIM	42
3.2.5 Les acteurs visés	43
3.3 BIM dans le secteur de la construction préfabriquée.....	43
3.3.1 L'utilisation du BIM en préfabrication.....	44
3.3.2 Cadre préliminaire de l'utilisation du BIM en préfabrication	47
3.4 Comparaison entre le PLM et le BIM : Différences et analogies	50
3.5 Conclusion	51
3.6 Remerciements.....	52
3.7 Références.....	53
Chapitre 4 : Best Practices for Implementing Building Information Modeling in the Prefabrication Sector	56
Résumé.....	57
Abstract	58
4.1 Introduction.....	59
4.2 Literature review	60
4.2.1 BIM definition and process	60
4.2.2 BIM benefits and limits	62
4.2.3 BIM in prefabrication	63
4.3 Methodology: Main steps to conduct the interviews	65
4.4 Analysis and results	66
4.4.1 Main barriers for BIM implementation	66
4.4.2 Best strategies to implement BIM in SMEs	67
4.4.3 Best practices for BIM adoption.....	69
4.5 Conclusion	71
4.6 References.....	72

Chapitre 5 : BIM prospects in prefabricated construction and the best practices for its adoption in SMEs	75
Résumé.....	76
Abstract.....	77
5.1 Introduction.....	78
5.2 Literature review	79
5.2.1 BIM Definition	80
5.2.2 BIM History and Adoption Worldwide.....	80
5.2.3 BIM Application in the Prefabrication Sector	81
5.3 Research methodology.....	81
5.4 BIM Implementation in Construction and Prefabrication	83
5.4.1 BIM Implementation Barriers	83
5.4.2 Strategies for BIM Implementation.....	88
5.4.3 Best Practices for BIM Adoption	92
5.5 Global BIM Implementation Framework in Prefabrication	96
5.6 BIM Implementation Framework for Prefabricated Multi-Housing Projects.....	98
5.7 Conclusion	102
5.8 Acknowledgments	104
5.9 Disclosure statement	104
5.10 References.....	104
Conclusion	109
Bibliographie	113
Annexe A : Les questions posées durant les entrevues	124
Annexe B : Les questions du sondage.....	125

Liste des figures

Figure 1 : Schéma symbolique de la chaîne d’approvisionnement (Source : École Nationale d’Assurances [ENASS] Michel Geets).....	6
Figure 2 : La normalisation selon la définition du bureau de normalisation de l’Ordre des architectes en France (Mapston and Westbrook, 2010).	10
Figure 3 : Comparaison de la rose des sables avec la maquette de l’architecte Jean Nouvel (Maneval, 2018).	18
Figure 4 : Les différents modèles associés au projet (Kunz, 2011).....	19
Figure 5 : Le modèle créé à la phase de conception et le projet dans la phase de la construction (Maneval, 2018).....	19
Figure 6 : La maquette BIM de l’école secondaire y compris tous les modèles (Lu and Korman, 2010).....	20
Figure 7 : Interférences entre les conduites et les armatures d’acier — les conduites et les barres d’acier (Lu and Korman, 2010).	21
Figure 8 : La maquette fédérée du projet et la détection des conflits (CanBIM, 2015).	23
Figure 9 : Méthodologie de la recherche.	26
Figure 10 : Les trois axes de la revues de la littérature et les formules utilisées.....	27
Figure 11 : Mode de transfert de l’information par la méthode traditionnelle et celle du BIM.....	38
Figure 12 : les niveaux de maturité du BIM [Succar, 2009].	39
Figure 13 : Croquis d’une base d’un poteau selon les différents LOD [bimbtp, blog « Découvrir le BIM », 2016].....	40
Figure 14 : Les critères de sélection d’un projet pour le processus BIM.	42
Figure 15 : Distinction entre BIM en construction ordinaire et BIM en construction préfabriquée.	47
Figure 16 : Cadre d’implantation du BIM en préfabriqué.....	48
Figure 17: The relevant levels of BIM.	61
Figure 18: Distribution of BIM barriers according to the interview analysis.	66
Figure 19: Human resources as a driver of the BIM process.	67
Figure 20: The main steps of BIM deployment.....	69

Figure 21: Three main functions in the BIM process.....	70
Figure 22: Research methodology.....	82
Figure 23: Global BIM implementation framework.	97
Figure 24: Critical problems in multi-housing projects and BIM benefits.....	99
Figure 25 : BIM implementation in a prefabricated multi-housing project.	100
Figure 26 : SMEs particularities leading to BIM opportunities and limits.	101
Figure 27 : Best practices for BIM adoption within the SMEs.	102

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les logiciels BIM selon les différentes dimensions BIM.	16
Tableau 2 : Des informations sur les participants aux entrevues	28
Tableau 3 : Définition du BIM entre 2007 et 2017.	36
Table 4 : BIM benefits based on BIM dimensions and applications.....	63
Table 5: BIM barriers in conventional construction and prefabrication sectors.	86
Table 6: BIM implementation process at the organization level.....	91
Table 7: Best practices for BIM adoption using the interviews and literature outcomes.....	94

Liste des abréviations, sigles, acronymes

BIM : Building Information Modeling

MDB : Modélisation des Données des Bâtiments

SMEs : Small and Medium sized Enterprises

PMEs : Petites et Moyennes Entreprises

RFID : Radio-Frequency Identification

ND/LOD : Niveaux de Détail/Level of development

BIP : BIM Implementation Plan

BEP : BIM Execution Plan

BMP : BIM Management Plan

PIB : Produit Intérieur Brut

AICPG : Architecture, Ingénierie, Construction, Propriétaires et la Gestion immobilière

PLM : Project Lifecycle Management

BFUP : Béton Fibré à Ultra Hautes Performances

IFC : Industry Foundation Class

BCF : BIM Collaboration Format

COBie : Construction Operation Building Information Exchange

IGES : Initial Graphics Exchange Specification

*À l'âme de mon grand-père qui ne m'a
jamais quitté et qui m'a offert des souvenirs
assez précieux avant son départ...*

*À mes parents, mes sources d'inspiration, de
puissance et de bonheur... Mes deux héros
qui n'ont pas cessé de me supporter, de
m'encourager et qui ont tant sacrifié pour
m'aider à atteindre mes objectifs...*

*À mon jumeau et mon petit frère qui sont la
source de ma force et de mon bien-être et
dont je suis fière...*

*À tous mes amis qui m'ont supporté tout au
long de mon parcours et surtout durant ma
nouvelle expérience au Canada, à ceux les
plus proches !*

Je suis vraiment reconnaissante...

*« Soyez le changement que vous voulez voir
dans le monde. » Gandhi. M*

*« Les hommes n'acceptent le changement que
dans la nécessité et ils ne voient la nécessité
que dans la crise. » Monnet. J*

*« Aucun de nous, en agissant seul, ne peut
atteindre le succès. » Mandela. N*

Remerciements

Je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la progression de ce projet de recherche.

Je tiens, particulièrement, à exprimer mes sincères remerciements à ma directrice de recherche Mme Lehoux qui n'a pas cessé de me guider, me supporter et me soutenir tout au long de mon cours. Ses conseils assez précieux, son suivi régulier, sa disponibilité à chaque fois que j'en ai besoin, son expertise et sa bonne humeur contagieuse m'ont mené à réaliser ce projet avec motivation et enthousiasme et à surmonter toutes les difficultés et les défis. Elle était, à la fois, encadrante, leader et conseillère !

J'adresse également mes vifs remerciements à mon codirecteur de recherche M. Blanchet qui m'a guidé et m'a donné de son temps pour tirer profit de sa vision stratégique et son expertise. Ses propositions constructives et ses conseils pertinents ont bien mené les travaux de recherche.

Je tiens, aussi, à remercier beaucoup Mme Cloutier pour sa contribution importante dans l'un des articles qui a été rédigé dans le cadre de ce projet.

Je n'oublie plus chaque membre de CIRCERB qui m'a aidé dans la réalisation de ce projet et durant les différentes activités et tâches (M. Gagné, Mme Belanger, etc.).

Mes remerciements s'adressent aussi aux partenaires du CIRCERB qui, grâce à leur intervention, ouverture d'esprit et bienveillance, ont fortement contribué à la réalisation de ces travaux.

Enfin, je m'adresse aussi à tous les experts BIM qui étaient assez bienveillants et serviables lors de leur participation dans les entrevues et qui nous ont permis de tirer profit de leurs expertises et leurs compétences dans ce domaine.

À vous tous, je suis extrêmement reconnaissante !

Avant-propos

Ce travail intitulé « Analyse du potentiel du BIM en construction préfabriquée et élaboration d'un cadre d'implantation », est réalisé afin d'obtenir le diplôme de maîtrise en Génie Mécanique (MSc.) de l'Université Laval. Il a été effectué sous la direction de Mme Nadia Lehoux et la co-direction de M Pierre Blanchet au sein de la Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable de bois (CIRCERB), sous l'Initiative sur la construction industrialisée (ICI).

Ce mémoire est rédigé selon le principe d'insertion d'articles avec deux articles de conférence et un article de journal, tous coécrits avec Mme Nadia Lehoux, M Pierre Blanchet et une intervention spéciale de Mme Caroline Cloutier dans le dernier article de journal. Pour chacun des trois articles, j'ai œuvré en tant qu'auteure principale responsable de toutes les recherches, rédactions, travaux et analyses relatifs à l'étude.

Le premier article intitulé « Démystification du BIM et cadre de déploiement pour la construction préfabriquée » a été soumis le 31 janvier 2019 à la conférence « CIGI QUALITA : le congrès international de génie industriel QUALITA » et présenté à la 13e édition de cette conférence le 28 juin 2019 à Montréal, Canada. La version publiée est identique à la version présentée dans ce mémoire.

Le second article intitulé « *Best Practices for Implementing Building Information Modeling in the Prefabrication Sector* » a été soumis le 15 octobre 2019 à la conférence « *International Conference on Information, Logistics and Supply chain (ILS) 2020* ». La version publiée est identique à la version présentée dans ce mémoire.

Le troisième article intitulé « *BIM prospects in the prefabricated construction and the best practices for its adoption in SMEs* » a été soumis au journal « *Construction management and Economics* ». La version soumise est identique à la version présentée dans ce mémoire.

Afin de respecter les politiques de confidentialité des partenaires de CIRCERB et des personnes intervenues dans cette étude, les données qualitatives collectées au cours des

entrevues ne sont pas introduites dans l'étude. Ce mémoire ne contient que les analyses et les résultats de ces données.

Introduction

L'industrie de la construction constitue un des principaux moteurs de développement économique au Canada. En effet, des statistiques datant de février 2020 ont montré que 15,9 milliards de dollars sont investis annuellement dans ce domaine (*Canadian Industry Statistics*, 2020). Par conséquent, ce secteur est fréquemment utilisé par le gouvernement comme un indicateur du bien-être socio-économique du pays (Tennant, Fernie and Murray, 2011). Toutefois, le fait d'être associé à une chaîne de valeur complexe, faisant intervenir plusieurs acteurs, rend la mise en œuvre des principes reconnus de gestion notamment la transparence, la continuité, l'efficacité, etc. plus cruciale (Tazehzadeh, Rezaei and Kamali, 2018). De plus, la construction traditionnelle a longtemps été critiquée pour imposer une main-d'œuvre intensive, une faible productivité, de mauvaises conditions de travail, un risque élevé pour la santé et la sécurité humaine, de nombreux déchets et une consommation d'énergie importante. La préfabrication, en tant que méthode de construction innovante et durable, a ainsi gagné de plus en plus d'intérêt parmi les chercheurs et les praticiens (Liu and Zhang, 2018). En effet, le secteur de la préfabrication a été reconnu comme une activité économique prometteuse, permettant des économies en termes de coûts et de temps, en plus de favoriser une meilleure productivité, une amélioration de la qualité, la protection de l'environnement et une rapidité de construction (Luo and Chen, 2018). Malgré ses avantages, ce secteur fait face aux problèmes rencontrés dans un projet de construction liés souvent aux particularités de ce domaine (la fragmentation et l'instabilité, etc. (Dallasega, 2018)).

En parallèle, le 21^e siècle a marqué un progrès rapide de la technologie de l'information et a offert de nouveaux processus et outils menant vers un virage numérique important. Ceci a eu un effet direct sur les différents secteurs qui faisaient traditionnellement peu appel à des outils de gestion et de contrôle des activités, notamment la construction et la préfabrication (Hossan and Nadeem, 2019). Dans cette optique, l'approche BIM a vu le jour afin de fournir une seule maquette d'un même bâtiment à partager entre tous les acteurs du projet, dans le but de minimiser les erreurs liées à une mauvaise coordination et communication entre les parties prenantes. Cette nouvelle méthode facilite le partage d'information entre ces acteurs grâce à la maquette centrale qui contient tous les modèles du bâtiment (architectural, structural, MEP,

etc.). De plus, différentes applications BIM (BIM3D, BIM 4D, BIM 5D, etc. se présentent selon les outils utilisés et permettent une meilleure exécution et gestion du projet.

Cette recherche s'intéresse donc à cette nouvelle approche et vise à démystifier le BIM, son potentiel de même que son intérêt dans l'industrie de la préfabrication (y compris la préfabrication des maisons usinées, des éléments structuraux, des panneaux muraux, etc.), d'une part, et élaborer un cadre d'implantation pour supporter les PME de ce secteur durant ce virage, de l'autre. Pour ce faire, trois objectifs spécifiques ont mené la recherche. Le premier vise à expliciter les fondements du BIM et ses requis. Le deuxième tend à analyser l'état d'implantation du BIM dans les entreprises québécoises de préfabrication, au Canada, et partout dans le monde afin de relever les facteurs (les barrières, les facilitateurs, les stratégies, les bonnes pratiques, etc.) affectant le processus d'implantation. Et le troisième consiste à dresser un cadre d'implantation basé sur les données pratiques et théoriques afin de guider les PME à prendre ce pas et à tirer profit de l'utilisation du BIM dans leurs différents projets.

La méthodologie utilisée pour atteindre ces objectifs est basée sur quatre phases. La première phase, la revue de la littérature, permet d'introduire le BIM et ses fondements en se basant sur la méthode de questionnement QQQQCP (Giraud, 2019): Qui (acteurs concernés)? Quand (quelle phase ou quelle étape)? Où (dans quel type de projets)? Quoi (définition du BIM)? Comment (le mode de fonctionnement)? Pourquoi (l'intérêt et la valeur ajoutée)? L'analyse de la littérature permet également de relever les barrières empêchant l'implantation du BIM et les stratégies pour favoriser son adoption. La deuxième phase concerne la collecte de données sur le terrain, à travers des entrevues semi-dirigées avec des experts BIM du Québec. Ces entrevues visaient à recueillir sensiblement les mêmes informations recherchées dans la littérature, dans le but de cerner les particularités liées à l'état actuel du BIM au Québec et de mieux saisir son niveau d'adoption dans les PME en préfabrication. Une comparaison entre les résultats issus de la théorie et ceux provenant de la pratique mènent alors vers une vision globale et une synthèse quant à l'état d'implantation du BIM et des facteurs influençant ce virage numérique. Une troisième phase est destinée à tenir un sondage en ligne auprès de manufacturiers québécois, afin d'analyser l'état actuel de ce secteur et de proposer une méthode d'implantation du BIM adaptée à cette réalité.

L'étude mène vers des résultats importants qui touchent plusieurs aspects du BIM et qui vont être présentés dans les articles inclus dans ce mémoire. Parmi ces résultats, il s'avère intéressant d'identifier les freins potentiels à cette transition pour bien se préparer à ce virage numérique. La littérature et les entrevues expliquent l'effet des barrières technologiques, financières, légales et organisationnelles, surtout celles humaines en mettant en lumière le facteur humain qui joue un grand rôle dans le bon déroulement de la phase d'implantation et le fonctionnement du processus. Quant à la préfabrication, les experts BIM précisent que les barrières propres à ce domaine sont plus liées aux aspects organisationnels et technologiques, nécessitant la création d'une bibliothèque d'éléments préfabriqués personnalisés dans la base de données des logiciels et le besoin de communiquer ces informations avec les responsables de la modélisation. Du point de vue idéologique, il est nécessaire de bien comprendre le concept du BIM, ses différents niveaux, ses outils et ses requis avant de parler de ses avantages et de ses applications et de clarifier ces concepts auprès de toutes les parties prenantes. Une fois clarifié, il devient judicieux d'effectuer une analyse préliminaire de l'état actuel de l'entreprise (les processus d'affaires, les ressources humaines et financières, les logiciels et les standards utilisés, etc.) comme une étape primordiale du processus d'implantation du BIM. Concernant les meilleures pratiques pour réussir dans ce processus, cinq actions clés ont été identifiées : clarifier, communiquer, collaborer, créer et calculer. Ces actions vont être expliquées davantage dans l'article 3.

Cette étude contribue au milieu académique en explicitant les modalités d'application du BIM dans la construction industrialisée. Même si l'étude porte sur les entreprises de préfabrication en bois au Québec, les concepts étudiés peuvent être exploités dans d'autres types de projets de construction. Cette étude contribue également à l'industrie en précisant les différentes stratégies et les meilleures pratiques à adopter pour prendre ce virage numérique et réussir la phase d'implantation afin d'augmenter la productivité et favoriser la collaboration entre les PME du secteur.

Le présent mémoire comporte six sections. La première section introduit une revue littéraire concise des grands termes et champs utilisés dans l'étude. La deuxième section explique la méthodologie utilisée dans cette étude, tandis que les sections trois, quatre et cinq

introduisent les articles rédigés dans le cadre de la maîtrise. La sixième section conclut le mémoire, suivie de la bibliographie.

Chapitre 1 : Revue de la littérature

L'objectif de cette section est d'introduire les concepts généraux utilisés dans cette étude, en allant d'une vision générale vers une plus pointue, grâce à la documentation scientifique disponible sur la chaîne d'approvisionnement en construction, l'industrie de la préfabrication, la construction 4.0 et le virage numérique BIM. Les revues de littérature présentées dans les prochains articles veilleront pour leur part à insister davantage sur la définition du BIM et de ses éléments clés (les dimensions du BIM, les niveaux de maturité, les niveaux de détails, etc.), ses avantages et ses limites ainsi que l'état de son adoption en préfabrication.

1.1 Chaîne d'approvisionnement d'un projet de construction

1.1.1 Les éléments de base

Lu et *al.* (2019) rappelle la première définition du terme « chaîne d'approvisionnement » proposé en 1982 par Oliver et Webber, qui l'ont décrit comme un réseau d'organisations de l'industrie manufacturière impliquées, par le biais de liens en amont et en aval, dans les différents processus et activités qui produisent des biens et des services. Une autre définition pertinente est celle publiée dans le magazine « Atlas Conseil International » : « Une chaîne d'approvisionnement, *Supply Chain* en anglais, est constituée d'un réseau d'acteurs contribuant à l'élaboration d'un bien. Elle englobe tout un ensemble logistique qui va de la fourniture de matières premières à la distribution en passant par la production de biens. Différentes entreprises et sous-traitants indépendants les uns des autres font partie de cette chaîne, ce qui, au final, aboutit à une forte interdépendance. » Cette dernière définition nous mène vers la présentation de la chaîne d'approvisionnement en construction publiée par Tazehzadeh, Rezaei et Kamali (2018). Ces derniers l'ont introduit comme un réseau d'organisations, contenant le flux de matériaux, d'équipements, de produits, d'informations ou de fonds entre les différentes parties du projet. La figure 1 représente un schéma symbolique de la chaîne d'approvisionnement en général (Atlas Conseil International, 2018). En particulier, elle illustre les différents composants de cette chaîne dans un secteur quelconque.

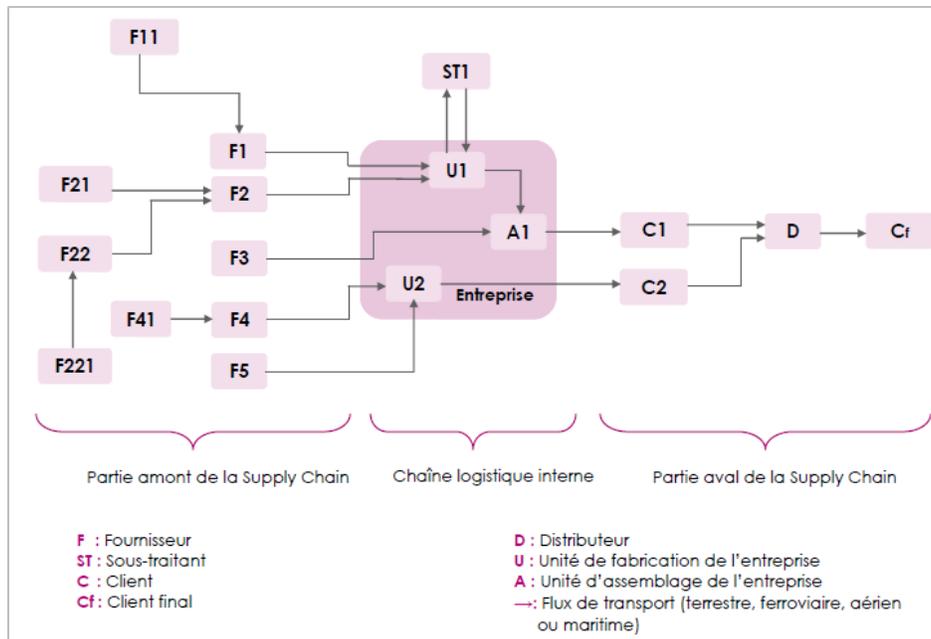


Figure 1 : Schéma symbolique de la chaîne d'approvisionnement (Source : École Nationale d'Assurances [ENASS] Michel Geets).

En projetant ce schéma dans l'industrie de la construction, on aura la disposition des parties suivantes : les fournisseurs (F_i) sont les fournisseurs de matériaux, d'équipements et d'autres services (notamment les maîtres d'œuvre), les unités de fabrication (U_i) de l'entreprise réfèrent à l'entrepreneur qui se charge de la réalisation du projet. Ainsi, si le projet est totalement construit en usine puis installé sur site, l'entrepreneur sera le manufacturier ou une entreprise de construction faisant appel à un sous-traitant en préfabrication pour prendre en charge les parties du bâtiment qui vont être fabriquées en usine. Le client (C_i) peut être le maître d'ouvrage ou le promoteur immobilier ou une entité gouvernementale et le client final (C_f) sera le propriétaire du bâtiment, les locataires, etc. L'interdépendance entre ce grand nombre de parties impliquées dans la même chaîne soulève plusieurs risques et défis qui vont être traités dans ce qui suit.

1.1.2 Les risques associés

London (2008) et Dallasega (2018) ont précisé que les chaînes d'approvisionnement en construction sont généralement caractérisées par des initiatives temporaires, la fragmentation, l'instabilité et une grande inefficacité. Les initiatives temporaires sont associées à la durée prédéterminée et limitée d'un projet de construction, contrairement à d'autres types de projets non limités dans le temps, comme la fabrication des automobiles, la

production d'un produit alimentaire, etc. (London, 2008). La fragmentation est liée aux différentes disciplines (architecture, structure, électrique, mécanique, etc.) des acteurs intervenant dans cette chaîne. L'instabilité est causée essentiellement par les conditions météorologiques puisque la majorité ou une partie des travaux se réalisent sur site et par la grande dépendance à la main d'œuvre. Pour l'inefficacité, elle est essentiellement issue des problèmes de communication et de coordination entre les parties prenantes durant les différentes phases du projet (Thunberg, Rudberg and Gustavsson, 2014). En effet, une erreur de conception qui n'a pas été détectée et corrigée entraîne des complexités et des problèmes à la phase de construction, ce qui nécessite des travaux supplémentaires menant ainsi à une perte du temps et d'argent. À titre d'exemple, Thunberg, Rudberg et Gustavsson (2014) ont précisé que des coûts supplémentaires d'environ 50 % du coût initial s'ajoutent au prix d'achat des matériaux en raison d'une mauvaise gestion des chaînes d'approvisionnement et de la logistique.

Yingchao (2019) a étudié les facteurs de risque internes et externes dans un projet faisant appel à la préfabrication. Selon cette étude, les facteurs externes sont principalement liés à l'environnement, notamment le risque naturel, politique et économique, le risque de marché et le risque de fluctuation de la demande du propriétaire. Pour les risques internes, ils concernent essentiellement le blocage des canaux d'information ou la coopération non coordonnée entre les entreprises de cette même chaîne (Yingchao, 2019). Dans un contexte particulier, une enquête menée par Tazehzadeh, Rezaei et Kamali (2018) a précisé que les risques qui menacent la chaîne d'approvisionnement en construction, au Canada, sont principalement liés à cinq facteurs : une communication inadéquate, une implication tardive des parties prenantes, un système informatique inadéquat, une conception simultanée mal coordonnée et une sélection inadéquate des fournisseurs.

Ainsi, la meilleure solution pour faire face à ces risques est de bien gérer cette chaîne (Lu *et al.*, 2019). Selon plusieurs études, cette gestion consiste à coordonner et à intégrer les processus clés de la construction et les différentes parties impliquées (Shen and Qi, 2018). Cette intégration est considérée comme une solution pertinente aux problèmes causés par la fragmentation et permet d'obtenir un flux efficace de matériaux, de services, d'informations, de décisions et de bonnes relations avec les parties prenantes pour garantir une meilleure

qualité du produit livré (Lu *et al.*, 2019). Une autre étude a mentionné qu'une meilleure gestion consiste à gérer les risques liés à l'offre et à la demande (Tazehzadeh, Rezaei and Kamali, 2018). La gestion des risques liés à l'offre réfère à ceux liés à la planification, aux relations, au transport et à la logistique du réseau. Celle des risques liés à la demande porte sur la prévision, la planification et la gestion des stocks. Par conséquent, il s'avère judicieux et indispensable de chercher de nouveaux processus d'affaires, des technologies et de nouvelles stratégies pour favoriser l'intégration des processus et des acteurs, faciliter la coordination et centraliser les informations et les données du bâtiment entre toutes les parties prenantes. Plusieurs études ont conclu que le BIM sera une solution pertinente pour répondre à ces besoins (Azambuja *et al.*, 2012) (Lu *et al.*, 2019).

La section suivante sera consacrée à présenter plus en détail le secteur de la préfabrication, ses particularités et son état au Québec, puisqu'étant un élément important de cette étude.

1.2 Préfabrication

1.2.1 Définition, historique et avantages

La préfabrication est la construction de certains éléments d'un ouvrage (murs, dalles, panneaux, etc.) ou de tout l'ouvrage (postes de télécom, bureaux mobiles, etc.) dans une usine ou dans un atelier, selon une chaîne automatisée (commandée par un ordinateur central) ou semi-automatisée (certaines tâches sont réalisées par des ouvriers). Ces éléments seront ensuite transportés vers le site pour l'assemblage ou vers la destination finale directement s'ils sont déjà finis (Vazquez, 2011). Cette technique vise essentiellement à mieux gérer et à contrôler les facteurs principaux affectant un projet de construction, tels que les conditions climatiques changeantes et les problèmes liés à la construction sur chantier (Gobeil, 2007). Le recours à cette technique mène vers plusieurs avantages, notamment un gain de temps (tout est bien contrôlé et réglé), une réduction du coût total du projet (moins de main-d'œuvre et moins de pertes) et une haute qualité du produit final, tout en répondant aux critères de durabilité et de protection de l'environnement (Shen and Qi, 2018) (Bibeau *et al.*, 2020).

L'industrialisation des méthodes de construction remonte au seizième siècle et la construction de la Nonsuch House, fabriquée en Hollande et assemblée à Londres, en est un

bel exemple (Newton et al., 2018). En 1851, cette façon de faire a permis d'achever le Crystal Palace, qui est le fameux palais d'exposition à Londres, en moins de six mois. Plus tard, des unités de classe entièrement finalisées ont été fabriquées en réponse à la reprise des besoins en éducation dans les années 1960. En outre, ces années ont vu le développement d'immeubles de grande hauteur industrialisés utilisant des éléments structuraux en béton préfabriqué. Après la Seconde Guerre mondiale, les bâtiments préfabriqués ont été utilisés pour répondre avec succès aux besoins du Royaume-Uni en matière de remplacement rapide du parc de logements en période de pénurie aiguë de matériaux, de main-d'œuvre et de compétences sur site (Mapston and Westbrook, 2010).

Comme déjà cité, ce secteur offre plusieurs bénéfices touchant les aspects économiques, environnementaux, sociaux et organisationnels (Mapston and Westbrook, 2010) (Li *et al.*, 2018) (Zhanglin, Si and Jun-e, 2017). Pour l'aspect environnemental, la préfabrication a permis de réduire les émissions de gaz à effet de serre et les déchets sur site grâce à la réduction du taux de travail sur chantier (Gobeil, 2007). Concernant l'impact économique, cette industrie a mené vers un gain remarquable en termes de temps, d'argent et de main-d'œuvre, vu la réduction de la durée d'exécution du projet, la réduction des défauts et de reprise en raison de la haute qualité initiale et la minimisation de l'effet météorologique puisqu'une grande partie du projet est réalisée en usine. Pour l'aspect organisationnel, ce domaine offre un environnement de travail plus organisé, sécurisé et contrôlé comparé aux travaux sur chantier et permet une meilleure traçabilité des produits fabriqués grâce à une chaîne de production semi ou totalement automatisée.

1.2.2 Particularités du secteur

La majorité des avantages de la préfabrication sont liés aux caractéristiques de ce domaine, notamment la normalisation des étapes de fabrication, l'industrialisation des processus, la rationalisation et l'organisation ainsi que la fabrication en série (Vazquez, 2011). Selon le *BuildOffsite Glossary Terms* : « La normalisation est l'utilisation généralisée et systématique d'un processus avec une régularité répétée dans les projets de construction, en vue de réaliser une économie, une qualité et une fonctionnalité optimales. » (*Buildoffsite Review 2014-2015*, 2015) En effet, lorsque des processus reproductibles sont intégrés à la construction

préfabriquée, ceci mène à une réduction du temps et de la main-d'œuvre, ce qui permet de consacrer plus de temps à la phase de conception, de test et de contrôle de la fabrication. Ainsi, on aura une réduction du coût du projet et une amélioration des performances du bâtiment. Une autre définition a été associée à ce terme qui se résume sur trois actes : spécifier, unifier et simplifier, qui sont expliqués davantage dans la figure 2.

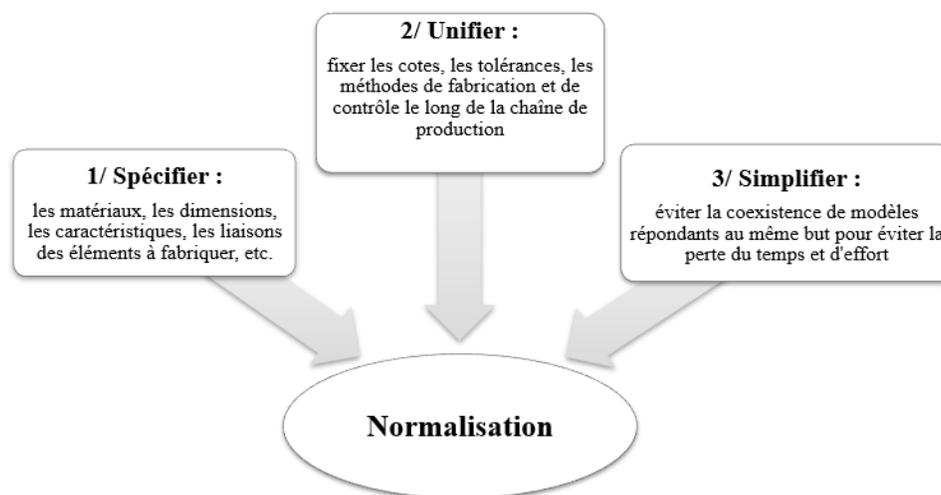


Figure 2 : La normalisation selon la définition du bureau de normalisation de l'Ordre des architectes en France (Mapston and Westbrook, 2010).

Pour l'industrialisation des processus, elle concerne principalement l'utilisation des machines dans le processus de fabrication d'un élément ou d'un produit, avec ou sans recours à la main-d'œuvre. Cette caractéristique est le facteur permettant un gain en termes de temps, d'énergie et du coût. La rationalisation et l'organisation consistent à étudier les méthodes de fabrication dans le but de réduire le temps de travail, de façon à avoir la meilleure productivité et la meilleure rentabilité possible. Cela se fait via l'emploi de nouveaux matériaux, l'utilisation de machines automatisées et l'organisation des différentes étapes du processus de préfabrication. Le dernier aspect caractérisant la préfabrication est le travail en série qui est répétitif, ordonné et contrôlé et dont les étapes sont liées les unes aux autres. Ce facteur présente des avantages considérables : rapidité de fabrication, diminution des coûts et augmentation de la qualité acquise par l'expérience de la répétition (Vazquez, 2011).

1.2.3 État au Québec

Selon Statistiques Canada (2019), le Québec occupe la deuxième place après l'Ontario en termes de nombres d'entreprises et d'employés dans le domaine de la construction en général

et dans le secteur de la préfabrication en particulier (*Canadian Industry Statistics*, 2019). 99,9 % de ces entreprises sont des petites et des moyennes entreprises (PMEs), 98,9 % d'entre elles ayant moins de 99 employés. Selon le même organisme, entre 2017 et 2018, la productivité du travail dans ce secteur a diminué 2,3 % comparativement à -0,2 % pour l'économie canadienne (*Canadian Industry Statistics*, 2018). Cela peut être lié à plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques, la pénurie de main-d'œuvre, le faible recours aux nouvelles technologies et aux nouveaux modèles d'affaires, la mauvaise gestion de la chaîne d'approvisionnement, etc. De plus, plusieurs rencontres avec des entreprises québécoises de préfabrication ont permis de constater que cette industrie est exposée à la forte concurrence, u besoin de collaboration pour une meilleure progression et à plusieurs problèmes de coordination et de communication entre les parties prenantes. Ainsi, il y avait un fort besoin d'étudier ces facteurs ainsi que des solutions qui puissent remédier à la décroissance de ce secteur.

La partie suivante sera destinée à la présentation du nouveau concept de la construction 4.0 qui a apparu pour assurer le développement et le progrès de cette industrie.

1.3 La construction 4.0

1.3.1 Définition

La construction 4.0 réfère à l'application des principes de l'industrie 4.0 dans ce secteur. Ainsi, il est important de commencer par définir l'industrie 4.0, ses origines et ses principes afin de comprendre le terme mis en question. Poirier (2018) présente l'industrie 4.0 comme suit : « c'est la quatrième révolution industrielle qui voit les technologies numériques s'intégrer au cœur des processus industriels. » Ce concept est issu d'une réflexion allemande achevée et lancée en 2011 lors de la foire de Hanovre (*Productique Québec*, 2016). Cette réflexion vise essentiellement à positionner le secteur manufacturier allemand comme le plus performant en matière de productivité et de flexibilité face à la concurrence internationale. L'industrie 4.0 se caractérise par une automatisation intelligente et par une intégration de nouvelles technologies à la chaîne de valeur de l'entreprise. Il s'agit d'une transformation numérique qui touche non seulement les systèmes et les processus, mais également les modes de gestion, les modèles d'affaires et la main-d'œuvre. Par la suite, Hossan et Nadeem (2019)

présentent la construction 4.0 en termes de numérisation de l'environnement bâti, de virtualisation de sa conception, de construction et de maintien, de préfabrication de ses composantes en usine, d'utilisation de la réalité virtuelle et augmentée et l'impression 3D (Hossan and Nadeem, 2019). Cela fait appel à l'intégration des systèmes informatiques partageant la même base de données et pouvant communiquer entre eux, une intégration verticale et horizontale de la chaîne d'approvisionnement, des machines intelligentes capables d'échanger de l'information de façon indépendante, des produits clairement identifiés et localisables (en usine ou en chantier) ainsi qu'un contrôle et une optimisation d'un produit en temps réel (Poirier *et al.*, 2018).

1.3.2 Les piliers de la construction 4.0

Selon Boton et Forgues (2017), la construction 4.0 est articulée autour de trois grands axes qui sont : le virage numérique, l'industrialisation de la construction et la durabilité. Le 1^{er} axe concerne le recours à toute technologie et l'utilisation des nouvelles applications permettant la numérisation des données et la meilleure traçabilité des informations notamment le BIM, l'impression 3D, l'informatique en nuage, les données massives, la radio-identification des fréquences (RFID « *Radio-Frequency Identification* » : voir la définition dans le chapitre 5), les capteurs intelligents, etc. Concernant l'industrialisation de la construction, elle vise essentiellement à trouver de nouvelles méthodes de construction pour remédier aux grandes limites de ce domaine, diminuer les déchets dans la chaîne d'approvisionnement et augmenter l'efficacité et la productivité sur chantier, notamment la préfabrication (Boton and Forgues, 2017). Pour le dernier axe qui est la construction durable, il concerne le développement durable en vue d'atteindre des objectifs économiques, écologiques et sociaux. Dans le même contexte, la construction en bois semble bien répondre aux fondements de la 4^e révolution en termes de durabilité. En effet, le guide technique pour la conception et la construction de grands bâtiments en bois au Canada indique que « par rapport aux systèmes de structure en acier et en béton, les systèmes de construction en bois de grande hauteur offrent un certain nombre d'avantages environnementaux importants ». Ces avantages incluent l'utilisation durable et renouvelable des ressources, la réduction des émissions carboniques et de l'empreinte écologique, la réduction de la consommation d'énergie, etc. (Boton and Forgues, 2017). Toutefois, il ne faut pas négliger les grands défis qui s'élèvent en présence de la

construction 4.0, notamment les nouvelles compétences requises, la sécurité des données et le besoin en investissement (Productique Québec, 2016). Dernièrement, Poirier *et al.* (2018) ont précisé que le BIM se présente comme la clé de voûte de la construction 4.0. Ainsi la section suivante vise à introduire brièvement ce concept ainsi que ses standards, les outils utilisés et des exemples de projets réels réalisés via cette méthode.

1.4 Building Information Modeling (BIM)

1.4.1 Brève définition

Le BIM se présente comme une nouvelle méthode de travail qui mène les acteurs d'un projet de construction (maître d'ouvrage, entrepreneur, architectes, ingénieurs en structure, manufacturier, etc.) à travailler en collaboration, en partageant la même maquette 3D qui va leur permettre de suivre l'avancement, les corrections et les mises à jour tout au long des différentes phases du projet (conception, construction, mise en service, entretien et maintenance, rénovation ou démolition). Cette nouvelle approche fait appel à une révolution culturelle et une nouvelle optique qui visent à résoudre les problèmes souvent rencontrés en favorisant la collaboration et la communication entre les parties prenantes des différentes disciplines.

À cet effet, Souha Tahrani, responsable de l'implantation des pratiques BIM chez Ædifica (Le groupe BIM du Québec, 2019), présente le BIM comme suit :

« Le BIM n'est pas qu'un simple logiciel à mettre en place, c'est une approche qui implique un changement dans notre façon de faire et notre modèle d'affaires. »

1.4.2 Les standards BIM

Étant une approche basée sur la collaboration, les entreprises qui désirent effectuer la transition vers le BIM ou qui viennent de commencer l'implantation doivent s'assurer de l'interopérabilité des logiciels. Georgiadou (2019) a défini ce facteur comme suit : « c'est la capacité de deux ou plusieurs systèmes ou logiciels d'échanger des informations sans avoir à installer de logiciel tiers. » Ainsi, plusieurs études précisent l'importance de prendre en compte ce facteur afin de bien choisir les outils à utiliser dans le processus BIM. À cet effet, plusieurs formats de fichiers ont été créés avec l'apparition du BIM tel que le format IFC,

BCF, COBie, IGES, etc. Le format IFC (*Industry Foundation Class*), développé par BuildingSMART, est le format OpenBIM le plus connu et le plus utilisé (Objectifs BIM, 2012b). Il est défini comme le format orienté-objet qui facilite l'échange des données entre les logiciels BIM, conçu pour tous les types de données, et ce, durant la durée de vie d'un bâtiment le long des différentes phases du projet (Objectifs BIM, 2012b). Plusieurs versions ont été développées sous ce format pour promouvoir et faciliter l'échange des différents types de données. L'IFC s'est imposé comme le standard mondial et est devenu une norme ISO (16739 : 2013). Un autre format BIM, appelé BCF (*BIM Collaboration Format*), a été créé pour faciliter les informations échangées entre les parties prenantes suite à des problèmes de conflits entre les différents modèles (Objectifs BIM, 2012a). L'ancienne méthode exige le transfert du modèle au complet entre les parties concernées. Sous le format BCF, les acteurs peuvent échanger juste une partie ou une vue précise du modèle, sans besoin de transférer tout le modèle, permettant ainsi d'optimiser le flux d'informations échangées. Le format COBie (*Construction Operation Building Information Exchange*) est lié au transfert des informations non graphiques du bâtiment, tel que la quantité des différents éléments, leur prix, le concepteur de ses éléments, son organisation, son contact, etc. (Jerez-Grisel, 2018). Il est utilisé surtout à la phase de conception et de remise de l'ouvrage au client. On peut donc constater qu'il existe plusieurs types de formats pour différentes fins et utilisations.

En outre, plusieurs normes internationales ont été créées pour appuyer ces concepts, clarifier les nouveaux lexiques et guider les échanges des informations entre les concernés selon un langage partagé, notamment (Naden, 2019) :

- ISO 19650-1 : 2018 : Organisation et numérisation d'informations des bâtiments et les travaux de génie civil, y compris la modélisation des informations des bâtiments (BIM) - Gestion de l'information à l'aide de BIM - Partie 1 : Concepts et principes ;
- ISO 19650-2 : 2018 : Organisation et numérisation d'informations des bâtiments et les travaux de génie civil, y compris la modélisation des informations des bâtiments (BIM) - Gestion de l'information à l'aide de BIM - Partie 2 : Phase de livraison des actifs
- ISO 19650-3 (en cours d'élaboration) : Organisation et numérisation d'informations des bâtiments et les travaux de génie civil, y compris la modélisation des informations

des bâtiments (BIM) - Gestion de l'information à l'aide de BIM - Partie 2 : Phase d'exploitation des actifs

La norme la plus récente est l'ISO 23380 : 2020 : Modélisation des informations du bâtiment et autres processus numériques utilisés dans la construction - Méthodologie pour décrire, créer et maintenir les propriétés dans les dictionnaires de données interconnectés. Elle vise à préciser les bases et les étapes suivant lesquelles les fichiers seront partagés entre les parties prenantes dans un projet de construction et à préciser les propriétés associées.

Pour finir, Bernier, E (2019) du groupe BIM Québec a insisté sur le fait de bien choisir les outils utilisés ainsi que les objectifs et les besoins de l'entreprise pour pouvoir faire un tel choix et d'étudier les avantages et les inconvénients de chaque logiciel ainsi que le budget et la valeur ajoutée à l'entreprise (Le groupe BIM du Québec, 2019). La partie suivante va donc introduire un ensemble de logiciels proposés pour différentes applications BIM et leurs particularités.

1.4.3 Les outils utilisés

Divers outils sont disponibles pour les différentes applications et usages du BIM (Eastman, Liston and Sacks, 2008; Forgues, Rivest and Collot, 2016; Garcia, Mollaoglu and Syal, 2016; Lapointe and Murat, 2017). Par conséquent, les entreprises doivent veiller à choisir l'outil le plus approprié à leurs besoins. Le tableau 1 présente les logiciels les plus connus selon les différentes applications du BIM :

- BIM 3D : la modélisation du bâtiment et de ses différents composants;
- BIM 4D : la planification de l'échéancier et le séquençage des travaux en temps virtuel pour estimer la durée d'exécution du projet;
- BIM 5D : le calcul des coûts basé sur le modèle 3D et les informations incluses dans la maquette;
- BIM 6D : l'analyse de la durabilité du bâtiment (analyse de la consommation énergétique, analyse thermique, analyse de l'emprunte carbonique, etc.);
- BIM 7D : la gestion des installations y compris l'analyse du cycle de vie du bâtiment, des plans maintenance, etc.

Tableau 1 : Les logiciels BIM selon les différentes dimensions BIM.

Applica-tions BIM	BIM 3D	BIM 4D	BIM 5D	BIM 6D	BIM 7D
Logiciels désignés	Revit AutoCAD ³ ArchiCAD Cadwork VisionREZ ¹ Vertex BD ¹ SoftPlan ¹ Chief Architect ¹ Vectorworks ¹ StrucSoft Solutions ⁷ MWF ¹² Bentley Architecture	Revit Builder- TREND DESTINI- Profiler VICO Office Navisworks AstaPower- Project BIM HsbCAD- Timber ²	Builder- TREND BIM pipeline VICO Office CostX MWF PRO Wood DProfiler	Vector- works VICO Office	Navisworks BIM 360 Digital Project BIM track FreshBrix ³ BuilderTREND ³ BIM pipeline ³ Bentley Architecture VICO Office AstaPower- Project BIM BIM Track BIM Collab HsbCAD Timber ²

La grande variété des outils disponibles peut mener vers une ambiguïté et un doute chez les utilisateurs vis-à-vis des logiciels les plus performants et les plus utiles (ses applications, ses avantages et ses limites). Eastmann, Liston et Sacks (2008) ont effectué une analyse des avantages et des inconvénients d'un ensemble de logiciels connus pour certaines applications BIM, y compris *Revit*, *Bentley*, *ArchiCAD*, *AutoCAD*, *Digital Project*, *Tekla structures* et *Dprofiler*. Cette analyse a permis de relever les particularités de ces outils. En effet, *Revit*, *ArchiCAD* et *AutoCAD* sont caractérisés par une interface intuitive et conviviale, ce qui facilite leur utilisation et leur manipulation. Toutefois, ils requièrent un système informatique assez puissant ayant une grande mémoire pour supporter leur bibliothèque d'objets. Si cette

¹ Dédiés surtout au projet résidentiel et non commercial (de petite et moyenne envergure)

² Plus dédiés à la préfabrication puisque facilitant la fabrication des éléments de la charpente

³ Permet une gestion du projet mais ne présente pas la fonctionnalité qui permet la détection de conflits entre les différents modèles. Donc pour ce faire, il faut exporter le modèle vers un autre logiciel qui permet cette application.

condition est négligée, elle peut ralentir le système et causer des problèmes de mise à l'échelle des fichiers lors de l'utilisation de ces logiciels. Quant à *Bentley, Digital Project* et *Tekla structures*, ils offrent des capacités de modélisation paramétrique très puissantes et complètes, permettant de modéliser tous les aspects du bâtiment, notamment ceux ayant une architecture particulière avec de grands assemblages complexes. Par contre, ils nécessitent une courbe d'apprentissage abrupte vu leur interface utilisateur complexe à naviguer. Pour le dernier logiciel Dprofiler, il est conçu pour des études de faisabilité préliminaires avant le début de la conception. Donc, son usage est limité à l'évaluation économique d'un projet de construction.

Ainsi, il est pertinent de faire une étude détaillée des besoins de l'entreprise, des applications à exploiter et de la liste des logiciels répondant à ces critères. Puis, une analyse des avantages et des inconvénients de ces logiciels permettra une prise de décision bien guidée vu que cette décision aura un impact important sur la suite du processus d'implantation et d'exploitation du BIM dans l'entreprise.

1.5 L'application du BIM en construction et préfabrication

Dans cette partie, des projets réels réalisés à l'échelle internationale et nationale en ayant recours au BIM seront présentés dans le but de relever les défis rencontrés et les bénéfices réalisés.

1.5.1 À l'échelle internationale

1.5.1.1 Musée National du Qatar

Ce projet est une expansion architecturale du musée national existant du Qatar. L'installation existante est un palais royal du début du dix-neuvième siècle qui a été restauré pour son nouvel usage, tandis que l'extension de 40 000 m², en forme de rose des sables, était d'une envergure et d'une complexité qui exigent une approche particulière pour la réalisation du projet. Le musée est composé d'une multitude de lentilles disposées aléatoirement afin de créer une gigantesque rose des sables tel que présenté à la figure 3. Le croisement de 130 lentilles d'un diamètre variant de 10 à 40 m crée les volumes des espaces d'exposition du

musée. La façade, de 120 000 m², est composée de panneaux de béton fibré à ultra-haute performance (Kunz, 2011).



Figure 3 : Comparaison de la rose des sables avec la maquette de l'architecte Jean Nouvel (Maneval, 2018).

Les deux aspects notables de ce projet sont l'utilisation d'un processus BIM hétérogène, qui s'explique du fait que ce projet réunissait plusieurs entreprises disposant chacune d'une plateforme informatique propre à elle, et la distribution dispersée des acteurs du projet, chacun appartenant à un pays différent, menant à une coordination plus difficile. Le gestionnaire du projet s'est engagé à fournir un processus BIM bien coordonné, bien que les équipes de conception (architecte, ingénieur en structure, ingénieur MEP, concepteur d'éclairage et architecte d'intérieur) aient toutes créé des modèles à l'aide de différentes plateformes. Parmi les logiciels utilisés dans ce projet, on note *Digital Project*, *Tekla Structures*, *CAD-DUCT*, *AutoCAD*, *Rhino* et *SketchUp*. Les formats d'échange des fichiers utilisés furent *IFC* et *IGES (Initial Graphics Exchange Specification)*. Le rôle du gestionnaire BIM dans ce projet était très critique. En effet, il devait collecter les différents modèles de conception provenant des différentes sources et les arranger dans une matrice selon la zone (la position du modèle dans le processus BIM) et la discipline. La figure 4 illustre une vue disciplinaire des différents modèles de conception du projet et de l'arborescence associée :

- Le modèle structurel réalisé par l'ingénieur structure (le modèle en haut) ;
- Le modèle architectural des disques constituant le toit, les disques composants les façades, la dalle, les vitres, etc. (les modèles au milieu) ;
- Le modèle des installations électriques, mécaniques, etc. relatif aux ingénieurs MEP (le modèle en bas).

1.5.1.2 Projet d'école secondaire, Gastonia, Caroline du Nord, États-Unis

Ce projet est d'une superficie de 20 439 m² et d'un montant total de 38 millions dollars (Lu and Korman, 2010). Il y a eu recours à la préfabrication pour fournir des salles de classe préfabriquées avec les installations du système électrique, mécanique et de plomberie (MEP). La plateforme BIM utilisée est *NavisworkTM*. Une maquette BIM complète contenant les modèles superposés de l'architecture, du système structurel et de celui MEP, a été créée par les spécialistes BIM de *Rogers Builders* comme indiquée dans la figure 6. La maquette BIM a été largement utilisée pour la coordination entre les différents acteurs lors de phase de conception, la précision de la portée des travaux des sous-traitants, le calcul et la gestion des coûts et le séquençement du projet.

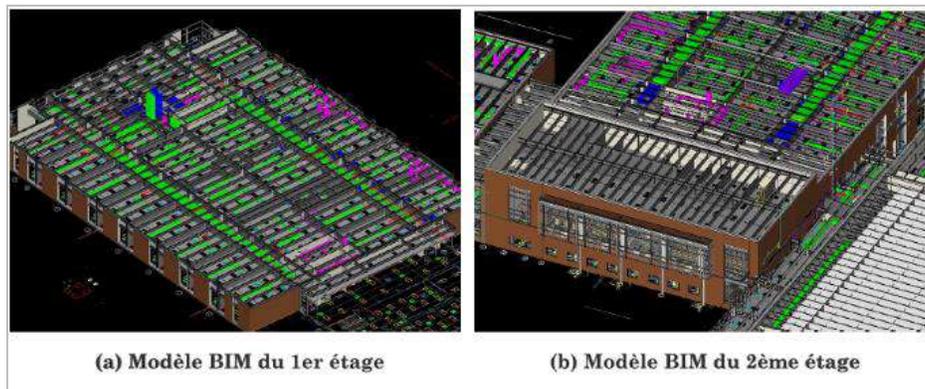


Figure 6 : La maquette BIM de l'école secondaire y compris tous les modèles (Lu and Korman, 2010).

Toute la coordination des installations MEP a été réalisée via la plateforme BIM. Il a été très avantageux de disposer les systèmes architectural, structurel et MEP superposés dans un seul modèle 3D, car ils ont ainsi réduit les risques d'erreur humaine tout en permettant la vérification visuelle et la détection des conflits. En utilisant le modèle BIM pour ce projet, 258 conflits ont été identifiés et éliminés au cours de la phase de conception, comme illustré dans la figure 7 (Lu and Korman, 2010). Chaque module de la salle de classe a été fabriqué en usine, y compris les installations des tuyaux de plomberie bruts et des conduits électriques. Le processus de finition et d'installation du système MEP a été lancé après l'installation de chaque module.

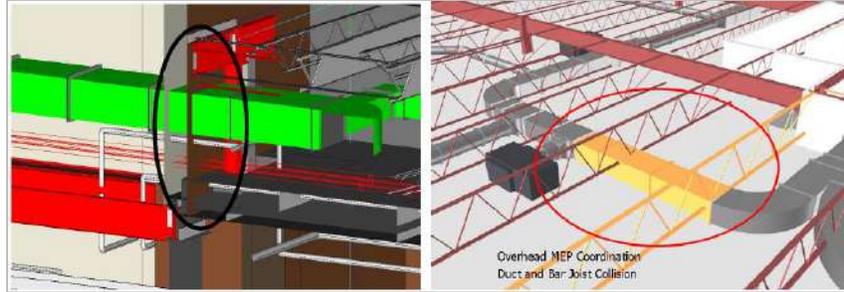


Figure 7 : Interférences entre les conduites et les armatures d’acier — les conduites et les barres d’acier (Lu and Korman, 2010).

Grâce à ces études de cas, les chercheurs ont confirmé que les effets les plus marqués de l’utilisation du BIM étaient la coordination de la conception, le séquençage des travaux à travers les simulations et la détection des conflits, surtout pour un tel projet de construction modulaire nécessitant une coordination de conception étendue.

Le plus grand défi de l’utilisation du BIM dans ces projets de construction s’est avéré le processus de mise en œuvre lui-même. À cet effet, l’entreprise *Rogers Builders* a employé plusieurs spécialistes internes du BIM pour développer, maintenir et exploiter des modèles créés via BIM pour chaque projet.

1.5.1.3 Un projet pilote d’un logement de petite échelle dans la province de Zélande, aux Pays-Bas

Ce projet pilote a été conçu pour tirer des leçons sur l’application du BIM dans un petit projet réalisé par des PME. Il comprend 4 maisons faisant partie d’un petit complexe résidentiel dans le village de Koudekerke (Sebastian and Haak, 2009). L’étude menée par Sebastian and Haak (2009) visait à effectuer une comparaison entre ce projet pilote réalisé via le BIM et un projet similaire réalisé selon la méthode traditionnelle (Sebastian and Haak, 2009). Le processus typique de la réalisation d’un tel projet commence par un promoteur de projet qui déclenche le projet en achetant un terrain et en le préparant pour la réalisation d’un lotissement de petite taille. Ensuite, le maître d’ouvrage qui est le client est celui qui va engager les autres acteurs du bâtiment, à savoir: l’architecte, l’ingénieur en structure, les entreprises d’installation, etc. Puis, il développe ce projet en fonction de sa stratégie marketing et gère les processus de conception, de construction et de livraison. Une fois le projet terminé, les maisons seront vendues aux utilisateurs finaux. Plusieurs outils ont été utilisés pour l’échange et l’intégration d’information entre différentes disciplines, par exemple

Nemetschek AllPlan, AutoCAD, Arkey, StruCAD, SaniNet, etc. Au cours des échanges d'information entre les parties prenantes, différentes possibilités ont été étudiées, allant du standard ouvert avec IFC, l'échange et l'intégration de modèles 3D au format AutoCAD et 3D-Studio, à un échange d'information de base au format 2D. À travers cet exemple, l'approche BIM a permis d'économiser au niveau du temps et des coûts dans les différentes phases. Un autre avantage a été noté concernant l'implication précoce des entrepreneurs, des sous-traitants et des fournisseurs lors du processus de conception, ce qui a permis de mieux comprendre les conséquences des décisions de conception pour la construction et la livraison.

1.5.2 À l'échelle nationale

1.5.2.1 *Centre universitaire de santé McGill (CUSM) - Centre de recherche, laboratoires cliniques et centrale thermique*

Ce projet consiste à la construction de laboratoires et d'une centrale énergétique. Les laboratoires sont conçus pour 114 modules de recherche, 6 plateformes technologiques, des salles de confinement et des laboratoires cliniques et de pathologie. Concernant la centrale énergétique, elle est divisée en quatre sections : équipement électrique, ventilation, chaudières et refroidisseurs. En raison de l'intégration de la centrale thermique au centre de recherche, les études sur l'acoustique et les vibrations analysant l'impact de la proximité des deux usages étaient deux préoccupations majeures. Par conséquent, le choix des matériaux de construction amortissant le bruit et le choix d'équipements basé sur la performance et les propriétés acoustiques étaient parmi les exigences les plus importantes du projet (Pomerleau, 2014).

Dans le but de respecter les exigences techniques, le budget et l'échéancier, le processus BIM a été choisi pour bien mener les différentes analyses et la réalisation du projet. Cette méthode a permis de modéliser en temps réel toutes les disciplines concernées, y compris l'architecture et l'ingénierie et d'analyser l'aspect acoustique et énergétique du bâtiment. La bonne collaboration et coordination entre les parties prenantes (participants de l'hôpital, l'équipe de Pomerleau, les équipes de consultants en architecture et en ingénierie) ont été relevées comme le facteur clé pour la réussite de ce projet.

1.5.2.2 Centre Vidéotron de Québec

Le projet de la construction du centre Vidéotron consiste à l'édification d'un amphithéâtre, d'une superficie de 65 037 m², destiné à des activités sur glace et autres événements d'envergure, représentant le plus important investissement public de l'histoire de la ville de Québec. L'amphithéâtre de sept étages inclut une grande salle pouvant être convertie en une salle de spectacles ou en patinoire de hockey professionnel pouvant accueillir de 2 500 à 21 000 personnes assises selon la configuration, avec sièges et gradins préfabriqués, chambres et vestiaires pour joueurs, une galerie de presse, des salons corporatifs, 81 loges, des aires de bars et de restaurants, un hall d'entrée et des stationnements (Pomerleau, 2015).

L'approche BIM a été sélectionnée pour atteindre les objectifs d'un tel projet de grande envergure. Le recours au BIM a permis de renforcer la collaboration entre tous les professionnels, d'améliorer la coordination entre les fournisseurs et les entrepreneurs spécialisés et d'optimiser le suivi et la coordination de l'échéancier (Pomerleau, 2015). En effet, ce projet a été caractérisé par un budget et un échéancier serrés et immuables, ce qui représentait un grand défi pour les parties prenantes. Ainsi, une solution, qui consiste à diviser le projet en 45 lots de travaux, a été exploitée en vue d'optimiser ces deux facteurs.

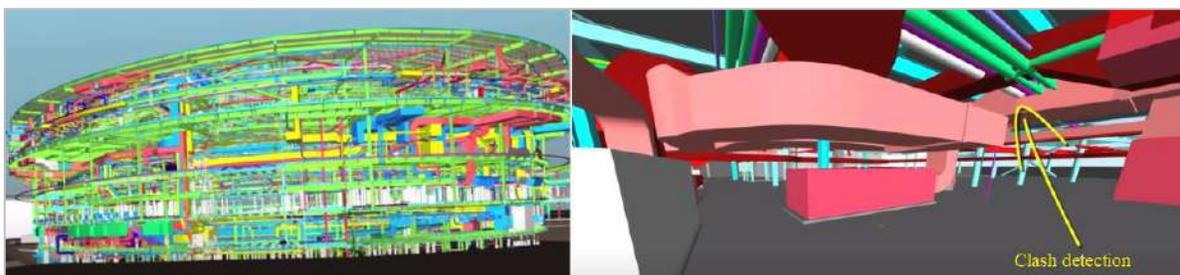


Figure 8 : La maquette fédérée du projet et la détection des conflits (CanBIM, 2015).

Les travaux ont été réalisés en milieu urbain avec le minimum d'inconvénients pour la population environnante et un accès contrôlé au chantier grâce à la détection des conflits en amont, la coordination efficace et le suivi régulier des travaux (Figure 8). L'utilisation du BIM a également permis de réduire de 70 % le temps requis pour la coordination entre les acteurs et de 7,5 % le coût du projet. À cet effet, le directeur du projet de la ville de Québec a affirmé : « On croit que l'utilisation de l'approche BIM et du concept de Lean étaient essentiels pour réussir la construction du Nouvel Amphithéâtre du Québec. » De plus, ce

projet a été sélectionné comme le meilleur projet BIM 2015 aux *CanBIM Awards* (CanBIM, 2015).

Chapitre 2 : Objectifs et méthodologie

La recherche effectuée dans le cadre de la maîtrise a pour objectif général de démystifier le BIM, de relever son potentiel et de proposer une piste des stratégies et de bonnes pratiques pour faciliter son implantation dans les petites et moyennes entreprises (PMEs) québécoises de préfabrication. Les objectifs spécifiques propres au projet sont :

- Expliciter les fondements du BIM et l'état actuel de son utilisation : Qu'est-ce que le BIM ? Qui l'utilise ? Pour quels types de projets ? Quelles sont ses forces et ses limites ?, etc.
- Dresser un portrait clair de l'état d'implantation du BIM dans les entreprises québécoises de préfabrication ainsi que dans d'autres entreprises au Canada et à l'internationale, en termes des barrières présentes, de stratégies d'implantation, de parties prenantes concernées, de meilleures pratiques pour atteindre les avantages du BIM, etc. ;
- Proposer un cadre d'implantation jumelant expérience terrain et bonnes pratiques de la littérature qui puisse guider sur l'utilisation du BIM dans le secteur du préfabriqué suivant la nature du projet à réaliser.

Pour ce faire, l'étude a été réalisée en trois grandes phases, présentées dans la figure 9, incluant une revue de la littérature, la réalisation d'entrevues semi-dirigées et la tenue d'un sondage en ligne.

La phase 1 a consisté en la réalisation d'une revue de la littérature sur la démystification du BIM, l'état de son adoption dans la construction ainsi que ses avantages, ses limites et les étapes de son implantation dans les PME. La phase 2 a reposé sur la réalisation d'entrevues semi-dirigées auprès d'experts BIM au Québec afin de clarifier les concepts de bases du BIM et de cerner l'état de son adoption au Québec (les facilitateurs, les freins, les étapes d'implantation, les meilleures pratiques, etc.). À partir des résultats de la littérature et des entrevues, un cadre global indiquant les différents niveaux d'implantation du BIM ainsi que les étapes à suivre a été créé. La phase 3 a été consacrée à la création et à la distribution d'un sondage auprès de manufacturiers du secteur du préfabriqué au Québec, dans le but de dresser l'état actuel de cette industrie, de relever les processus d'affaires actuellement suivis, d'identifier les problèmes souvent rencontrés et de cibler leurs intérêts envers le BIM. Un

cadre d'implantation du BIM dans un projet de multi-logements a ensuite été développé suite à l'analyse des résultats de cette enquête. Chacune de ces phases sera détaillée ci-dessous.

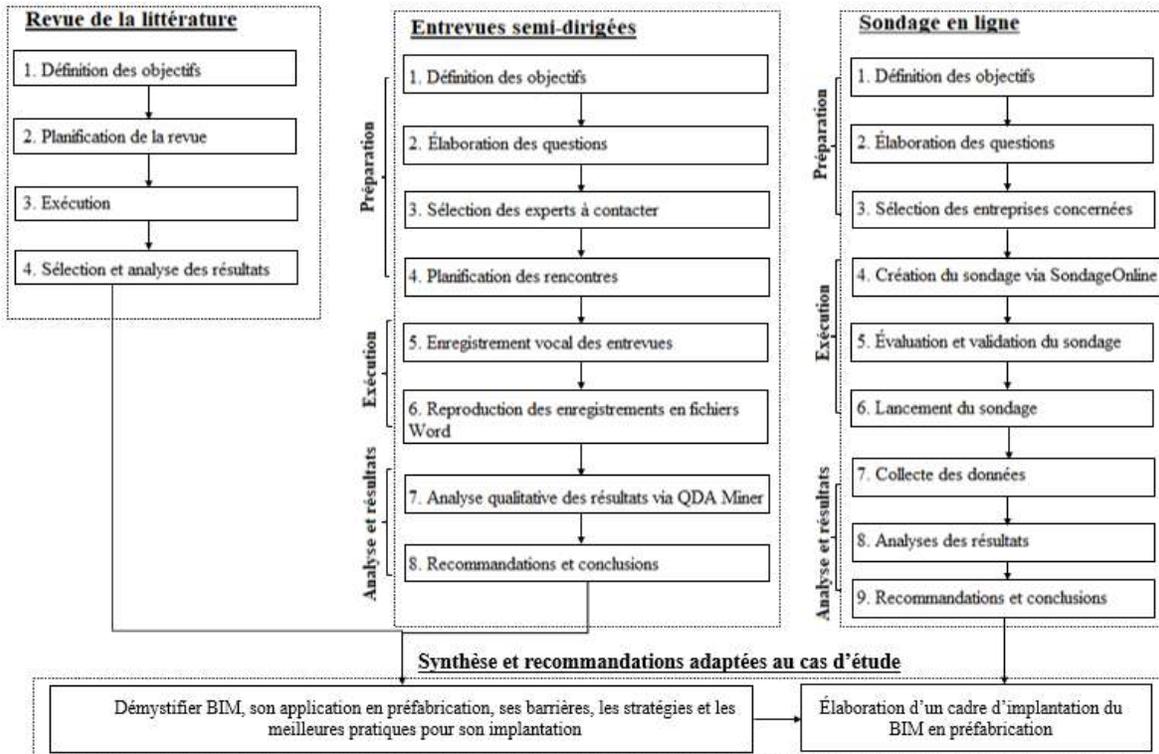


Figure 9 : Méthodologie de la recherche.

2.1 Phase 1 : Revue de la littérature

À la première phase de l'étude, une recherche a été effectuée dans la documentation scientifique à partir de plusieurs bases de données issues de disciplines diverses (sciences et génie, architecture, administration des affaires, relations industrielles, etc.). Cette partie a été menée en vue de démystifier BIM (sa définition, ses requis, ses outils, les acteurs concernés et les nouveaux acteurs, les projets adaptés, etc.), relever son intérêt (ses avantages et ses applications) en construction, particulièrement en préfabrication, et identifier les piliers de son implantation dans les PME de cette industrie. Différentes formules basées sur plusieurs mots clés (*BIM, construction, prefabrication, industrialization, modular construction, offsite construction, benefits, limits, implementation, deployment, best practices, SMEs, ...*) ont été créées pour bien mener cette partie tel qu'indiqué à la figure 10.

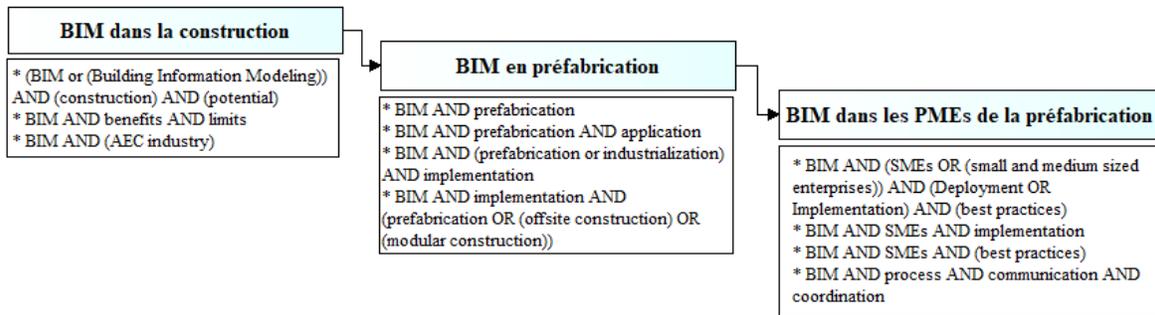


Figure 10 : Les trois axes de la revues de la littérature et les formules utilisées.

Les articles ont été sélectionnés selon la présence de ces mots clés dans l’une des trois parties : le titre, le résumé et les mots clés. La majorité des articles sélectionnés étaient extraits de journaux liés à l’industrie de l’architecture, de l’ingénierie et de la construction tels: *Automation in construction*, *Construction innovation*, *Journal of civil engineering and management*, *Journal of sustainable development*, *Journal of construction*, *Engineering and architectural management*.

L’analyse des résultats issus de cette partie a permis de clarifier les notions de base du BIM, de dresser l’état de son adoption dans le monde ainsi qu’au Canada, d’identifier les projets adaptés et les acteurs concernés, de relever ses avantages et ses applications, de détecter les limites et les risques de ce virage numérique, de cerner son état en préfabrication et, finalement, de relever les stratégies de son implantation et les meilleures pratiques pour l’exploiter dans les PME de la construction industrialisée.

2.2 Phase 2 : Entrevues semi-dirigées

En parallèle à la phase 1, une collecte des données sur le terrain a débuté par la tenue d’entrevues semi-dirigées auprès d’ambassadeurs du BIM au Québec. Une entrevue semi-dirigée a été définie dans le livre « La Recherche Sociale » (Benoît, 2009) comme suit :

«L’entrevue semi-dirigée consiste en une interaction verbale animée de façon souple par le chercheur. Celui-ci se laissera guider par le rythme et le contenu unique de l’échange dans le but d’aborder, sur un mode qui ressemble à celui de la conversation, les thèmes généraux qu’il souhaite explorer avec le participant à la recherche. Grâce à cette interaction, une compréhension riche du phénomène à l’étude sera construite conjointement avec l’interviewé.»

Cette étape a été choisie étant donné son importance dans la collecte des données auprès des professionnels du domaine et pour le cas spécifique (la province du Québec). En effet, Georgiadou (2019) précise que la nature interactive et non rigide des entrevues permet de soulever des questions importantes pour les personnes interrogées et leur permet également d'exprimer librement leurs points de vue. Dans le même sens, Benoît (2009) ajoute que cette méthode donne un accès direct à l'expérience des individus et permet d'avoir des données riches en détails et en descriptions.

Les personnes interrogées ont été choisies selon leur expérience liée au virage numérique dans l'industrie de la construction. Le tableau ci-dessous présente plus d'informations sur les personnes rencontrées (leur formation, leur poste, leurs expériences, etc.).

Tableau 2 : des informations sur les participants aux entrevues

Poste (formation)	Expérience (en année)	Organisation
Chercheur (ingénierie)	-	Université Laval
Chercheur (droit)	-	Université Laval
Directeur BIM (architecte)	12	Firme de consultants et de développement en modélisation de l'information du bâtiment (BIM)
Gestionnaire BIM	12	Firme de consultants et de développement en modélisation de l'information du bâtiment (BIM)
Directeur BIM (ingénieur)	7	Firme d'architecture
Directeur BIM (architecte)	12	Organisme à but non lucratif
Directeur BIM (ingénieur)	6	Organisme gouvernemental fournissant des services de construction, d'exploitation et de gestion immobilière
Directeur BIM + professeur (architecte)	9	Entreprise générale en construction et gestion de projets
Directeur BIM + professeur (architecte)	9	Firme d'architecture

Cette partie avait pour but de relever la situation actuelle d'application du BIM en préfabrication et les points marquants de cette transition ainsi que les leçons apprises. Une liste de 16 questions à poser a été préparée (voir l'annexe A), dans le but de bien comprendre les fondements du BIM, les acteurs concernés, les nouvelles responsabilités engendrées, les projets adaptés pour cette méthode et les meilleures stratégies à mettre en place pour bien implanter le BIM dans une entreprise. Ensuite, neuf experts BIM au Québec ont été sélectionnés, provenant de différentes entreprises et organisations bien connues dans ce domaine. Ces personnes ont été sélectionnées en raison de leur grande expérience dans le domaine de la construction et leur connaissance et maîtrise du processus d'implantation du BIM dans plusieurs projets. De plus, ces experts se sont montrés de réels ambassadeurs du processus BIM et ont participé à différents événements visant à sensibiliser les firmes à l'importance de cette approche. Différents types de rencontres ont dès lors pu être réalisées, selon la disponibilité de chaque participant (par SKYPE, par téléphone, face-à-face, etc.). Ces rencontres, qui ont duré entre 60 et 90 minutes, ont été enregistrées après avoir eu la permission des intervenants. Cela a permis la reproduction en fichier Word requis pour l'analyse qualitative de ces données. Le logiciel *QDA Miner* a été choisi pour effectuer cette analyse. En effet, ce choix est dû à l'efficacité des analyses de l'outil, à la pertinence de ses résultats et à sa facilité d'utilisation (Roy et al., 2013). Finalement, des conclusions et des recommandations ont été formulées pour les PME de préfabrication, afin d'avoir une vision claire à propos de cette nouvelle approche et pour bien se préparer à la transition vers le BIM en ayant conscience des barrières qui se présentent, des étapes à suivre et des meilleures pratiques à adopter.

2.3 Phase 3 : Sondage en ligne

Une fois le processus, les stratégies et les pratiques du BIM mieux maîtrisés, il devenait judicieux d'analyser l'état actuel de l'industrie de la préfabrication au Québec et de relever les pratiques actuelles en place ainsi que les zones d'amélioration. Ainsi, un sondage a été créé visant les entreprises de ce secteur. Dans le même axe, Georgiadou (2019) précise l'importance de l'approche qualitative (les sondages en particulier) lors de la recherche des informations spécifiques sur un sujet peu abordé. Pour ce faire, quatre grandes étapes ont été suivies tel que présenté dans le livre « La Recherche Sociale » (Benoît, 2009):

- Décider les concepts à explorer et à mesurer et déterminer les indicateurs nécessaires;
- Rédiger les questions correspondantes aux indicateurs et s'assurer qu'elles soient précises, pertinentes et neutres;
- Déterminer l'ordre des questions;
- Vérifier le questionnaire avant de l'envoyer aux répondants.

Ainsi, 31 questions ont été préparées couvrant trois grandes parties : une partie portant sur des informations générales à propos des répondants et de leurs entreprises, une partie couvrant l'état de la préfabrication (les forces, les faiblesses, les opportunités, etc.) et les différents aspects d'un projet de multi-logements (processus, implication des acteurs, problèmes rencontrés, etc.) et une dernière partie portant sur l'intérêt des professionnels de ce secteur envers l'implantation du BIM, ses avantages et les freins potentiels à son adoption. Ces questions sont présentées à l'annexe B. Cette enquête a été créée via *SondageOnline*, un outil gratuit et simple à utiliser. En effet, ce site offre différents types de questions (questions simples, à choix multiples, à matrice, etc.), sans restriction, en plus de permettre une analyse rigoureuse des résultats obtenus. Cette enquête en ligne a été distribuée auprès de 30 PME québécoises œuvrant dans le secteur de la préfabrication, et plus particulièrement, dans la réalisation de projets de multi-logements. Elles ont été choisies selon leur expertise dans ce domaine ainsi que leur intérêt envers les nouvelles technologies. De plus, cet échantillon comportait à la fois des entreprises n'ayant pas encore implanté le BIM (42,9%), d'autres venant juste de commencer dans ce processus (35,7) et d'autres encore se voulant avancées dans cette démarche (21,4%), dans le but d'avoir des réponses diversifiées et qui touchent tous les stades d'implantation potentiels. L'analyse des résultats a permis de cerner l'état de ces entreprises, les processus suivis pour réaliser un projet de multi-logements, les phases les plus risquées, les solutions envisagées pour améliorer cette situation et les perceptions de ces manufacturiers vis-à-vis du BIM.

2.4 Phase 4 : Synthèse et recommandations adaptées au cas d'étude

Les trois phases précédentes ont mené vers une synthèse globale basée sur les expériences et les études internationales et nationales ainsi que les données du terrain. Cette synthèse clarifie, en premier lieu, l'approche BIM, ses concepts de base, ses outils, son

fonctionnement, ses requis et ses limites, en construction et en préfabrication. En deuxième lieu, ces trois phases ont permis d'identifier les barrières les plus critiques qui freinent l'implantation du BIM dans les PME (à l'échelle internationale et nationale) ainsi que les jalons du processus d'implantation et les meilleures pratiques pour bien exploiter cette nouvelle méthode. Puis, un cadre global d'implantation du BIM selon différents niveaux (gouvernemental, industriel, niveau du projet) a été créé. Finalement, une analyse FFOM (Force, Faiblesse, Opportunité et Menace) de l'industrie de préfabrication au Québec et des phases les plus risquées dans le processus de réalisation d'un projet type a permis de relever les applications BIM les plus adaptées à cette situation et de dresser un cadre d'implantation du BIM dans ce type de projet.

Chapitre 3 : Démystification du BIM et cadre de déploiement pour la construction préfabriquée

L'article intitulé « Démystification du BIM et cadre de déploiement pour la construction préfabriquée » est inséré dans cette section du mémoire. Il a été soumis le 31 Janvier 2019 à la conférence « CIGI QUALITA : le congrès international de génie industriel QUALITA » et présenté à la 13e édition de cette conférence le 28 juin 2019 à Montréal, Canada. La version publiée est identique à la version présentée dans ce mémoire.

Résumé

Les enjeux auxquels fait face le domaine de la construction découlent principalement des caractéristiques particulières et des exigences que posent les projets de construction modernes, tels une architecture originale, une haute résistance structurelle, une isolation thermique et acoustique et un recours fréquent à la préfabrication. Ainsi, plusieurs acteurs entrent en scène pour répondre à ces exigences et satisfaire ces conditions. La communication et le transfert excessif de documents entre ces acteurs retardent toutefois l'avancement du projet en absence d'une rigoureuse gestion. Le déploiement d'un processus multifonctionnel de gestion et de réalisation de projet le long du cycle de vie d'une construction, comme le Building Information Modeling (BIM), devient alors un atout, voire une solution d'avenir pour ce secteur. Plusieurs entreprises doutent toutefois encore de son efficacité et de la fiabilité de ses résultats. Cet article vise à révéler les fondements du BIM et son mode de fonctionnement dans l'industrie de la construction. Il permet également de mettre en lumière l'intérêt de l'approche pour le secteur de la construction préfabriquée et de proposer un cadre préliminaire pour faciliter son adoption.

Abstract

The challenges facing the construction sector result mainly from the particular characteristics and requirements of modern construction projects, such as original architecture, high structural strength, thermal and acoustic insulation and frequent use of prefabrication. Several stakeholders are furthermore involved to fulfill these requirements and achieve these conditions. However, the communication and the excessive transfer of documents between those players may impact the progress of the project. Deploying a multifunctional process for project management and its execution along the life cycle of a building, such as Building Information Modeling (BIM), becomes an asset or even a future solution for this sector. However, several companies still doubt its efficiency and the reliability of its results. This article aims to reveal the fundamentals of BIM and how it is used in the construction industry. It also allows to highlight the value of the approach for the prefabricated construction sector and to propose a preliminary framework to facilitate its adoption.

3.1 Introduction

La communauté canadienne de l'architecture, de l'ingénierie, de la construction, des propriétaires et de la gestion immobilière (AICPG) compte pour plus de 290 milliards \$ de dépenses en immobilisations par année, soit 18,2 % du produit intérieur brut (PIB) canadien [Canadian Industry Statistics, 2013] et [BuildingSMART, 2014]. Le secteur de la construction emploie à lui seul 1,3 millions de personnes oeuvrant dans plus de 120 000 entreprises, ce qui représente 7,5 % de l'emploi total au Canada [BuildingSMART, 2014]. Ces statistiques montrent l'importance de ce domaine dont les besoins et les demandes augmentent au fil du temps. Toutefois, environ 5 % du montant dépensé dans ce secteur est dissipé en raison d'erreurs liées à une mauvaise communication entre les parties prenantes et aux problèmes d'interopérabilité des fichiers échangés [Forgues *et al.*, 2016]. En effet, jour après jour, le secteur de la construction se retrouve face à des défis constamment plus grands et stimulants en termes d'aspects esthétiques, structurels et écologiques des bâtiments à mettre sur pied. Toutefois, le nombre important d'acteurs qui interviennent dans un projet type et le transfert intensif de fichiers numériques provenant de plusieurs modèles générés à partir de différentes plateformes suscitent encore plusieurs problèmes et erreurs lors de la phase de planification et de réalisation du projet [Gallaher *et al.*, 2004]. Le *Building Information Modeling* (BIM) (ou MIB/MDB Modélisation des informations/des données du bâtiment en français) comme processus de modélisation, de gestion et d'exécution d'un projet de construction, est donc apparu comme un moyen de fournir une seule maquette numérique du bâtiment, à partager entre les différents acteurs. Ainsi, chaque modification ou correction concernant un projet de construction se fait sur cette même maquette, ce qui facilite l'échange d'informations et le suivi des mises à jour [Boutemadja, 2016]. Cette nouvelle approche n'est toutefois pas encore pleinement utilisée dans le domaine de la construction et plusieurs entreprises s'interrogent encore sur ses avantages, ses limites, son mode de fonctionnement et les requis pour son implantation. Il devient donc judicieux de mieux étudier l'intérêt du BIM et de préciser les stratégies à suivre pour tirer profit de la méthode.

Cet article vise à mettre en lumière le mode de fonctionnement et le potentiel du BIM dans la construction en général, puis à proposer un cadre d'implantation préliminaire du processus afin de favoriser son utilisation dans la construction préfabriquée en particulier. Pour ce faire,

une revue de la littérature scientifique a été réalisée, permettant de bien comprendre le fonctionnement de l’approche et sa portée. L’étude de projets concrets à partir du modèle BIM abordés dans la littérature a aussi contribué à mieux distinguer les façons de faire propres à la méthode. Une analyse du contexte de la construction préfabriquée a finalement permis de relever des distinctions avec la construction traditionnelle et de proposer un cadre pouvant accompagner les professionnels dans leur utilisation de la méthode. Cet article se veut donc un premier pas vers une démarche plus systématique de déploiement du BIM au sein des entreprises du secteur de la construction préfabriquée.

Cet article sera divisé de la façon suivante : la première section sera consacrée à la revue de la littérature afin de bien définir les fondements du BIM. La seconde section sera destinée à l’étude du BIM dans la construction préfabriquée. La troisième section proposera une comparaison préliminaire entre le BIM et le *Project Lifecycle Management* (PLM), deux stratégies ayant des objectifs similaires mais étant issues de domaines différents. Enfin, une conclusion du travail effectué sera présentée dans la dernière section.

3.2 Revue de la littérature

3.2.1 Définition

Le BIM se veut un concept assez large et plusieurs définitions lui ont au fil du temps été associées [Azhar, 2007], [Ham, 2008], [Succar, 2009], [Gu et London, 2010], [Volk, 2014], [Miettinen et Paavola, 2014], [Kalinichuk, 2015], [Roux, 2016] et [Glema, 2017]. Certains le considèrent comme une technologie, d’autres comme un modèle 3D et d’autres encore comme un processus. Le tableau 3 résume les définitions jugées les plus pertinentes pour mieux comprendre l’approche en question.

Tableau 3 : Définition du BIM entre 2007 et 2017.

Référence utilisée	Définition proposée par les auteurs
Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2007). <i>Building Information Modeling (BIM)</i> :	« <i>Building Information Modeling</i> (BIM) représente le processus de développement et d’utilisation d’un modèle généré par ordinateur pour simuler la planification, la conception, la construction et l’exploitation d’es installations. Le modèle résultant, <i>building information model</i> , est une représentation

<p><i>Benefits, Risks and Challenges. (page 1)</i></p>	<p>numérique, intelligente, paramétrique des objets orientés de l’ouvrage et riche de données, à partir de laquelle des vues et des données correspondant aux besoins des différents utilisateurs peuvent être extraites et analysées afin de générer des informations pouvant être utilisées pour prendre des décisions et améliorer le processus de réalisation du projet. »</p>
<p>Succar, B. (2009). <i>The Five Components of BIM Performance Measurement 1. Building Information Modelling : a brief introduction (page 2)</i></p>	<p>« Le BIM est un ensemble de stratégies, de processus et de technologies en interaction, générant une méthodologie permettant de gérer la conception essentielle du bâtiment et les données de projet en format numérique tout au long du cycle de vie d’un bâtiment. »</p>
<p>Gu, N., & London, K. (2010). <i>Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. Automation in Construction (page 1)</i></p>	<p>« La modélisation des données du bâtiment (<i>Building Information Modeling</i>) est une technologie de l’information qui consiste à appliquer et à gérer une représentation numérique intégrale de toutes les informations de construction pour les différentes phases du cycle de vie d’un bâtiment sous la forme d’un entrepôt de données. »</p>
<p>Glema, A. (2017). <i>Building Information Modeling BIM—Level of Digital Construction. Archives of Civil Engineering (page 4)</i></p>	<p>« La modélisation des informations d’un bâtiment est un processus qui permet de générer et d’exploiter les données d’un bâtiment afin de concevoir, de construire et d’exploiter le bâtiment au cours de son cycle de vie. Le BIM permet à toutes les parties prenantes d’avoir accès à la même information au même moment grâce à l’interopérabilité entre les plateformes technologiques. »</p>

Ainsi, il est possible d’énoncer que le BIM est un processus reposant sur une méthodologie avancée, pour la conception d’un bâtiment et la collecte de toutes les informations nécessaires à la bonne exécution et à la bonne gestion d’un projet de construction durant son cycle de vie. Il englobe toutes les phases d’un projet, de la conception du bâtiment en passant par la simulation de son comportement jusqu’à la mise en service et la maintenance du bâtiment.

Le bon fonctionnement de ce processus repose donc sur le partage d'informations entre tous les acteurs du projet (architectes, ingénieurs, maître d'ouvrage, etc.) et le recours à une seule et même maquette numérique (Figure 11).

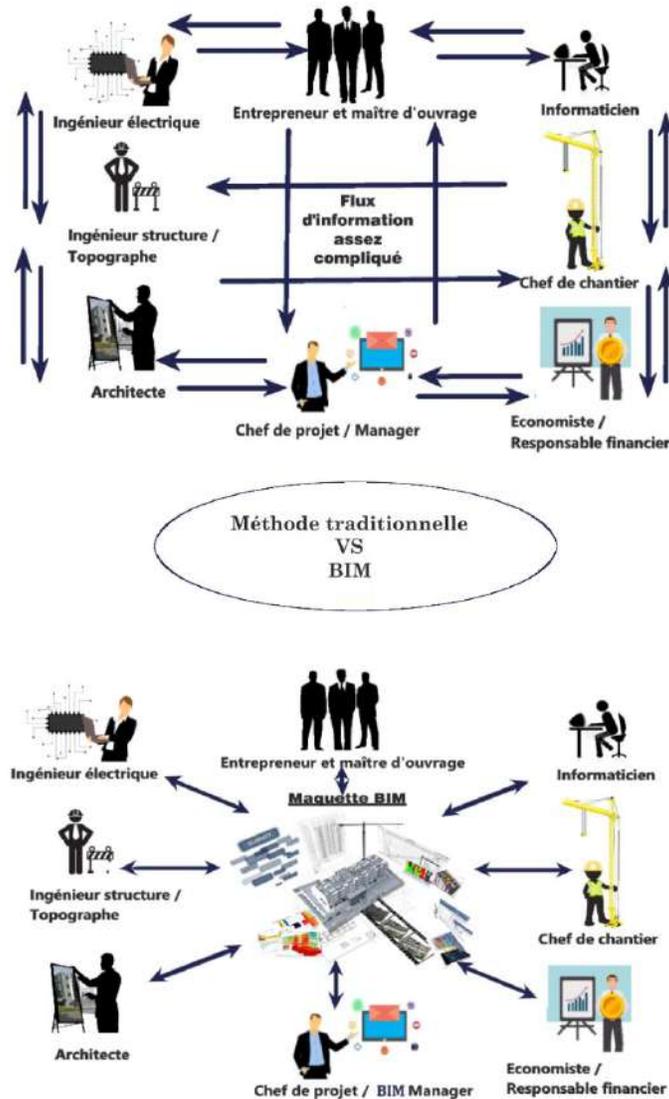


Figure 11 : Mode de transfert de l'information par la méthode traditionnelle et celle du BIM.

3.2.2 Le mode de fonctionnement du BIM

Pour mieux comprendre le mode de fonctionnement du processus BIM, il devient judicieux de jeter un œil à ses niveaux de maturité [Succar, 2009]. En effet, la figure 12 illustre les quatre niveaux de maturité BIM qui correspondent à la progression de l'outil au fil du temps. L'étape pré-BIM correspond au **niveau 0** où on se limite à une représentation 2D du projet et elle est marquée par l'absence d'un processus commun entre les participants dans le projet.

Le niveau 1, qui réfère souvent au BIM en isolation (*lonely BIM*), correspond au passage de la modélisation 2D à celle 3 D, en utilisant des objets paramétriques typiques des technologies de type BIM. **Un objet paramétrique** est un objet n’ayant pas une géométrie fixe et à qui sont associées des données et des règles lui permettant de s’intégrer facilement dans le modèle 3D (les murs, les dalles, etc.) [Eastman *et al.*, 2008]. Ce niveau est caractérisé par un partage de données standardisées dans un environnement commun. Par contre, il n’y a pas de collaboration à proprement parler, car chaque acteur publie et met à jour ses données individuellement. **Le niveau 2** est la phase où tous les participants produisent leur propre modèle 3D qu’ils s’échangent en utilisant un format commun. Cela a pour but de réunir tous les modèles pour créer une maquette fédérée permettant de détecter les incohérences. À ce niveau, les données sont structurées dans un environnement commun et les processus de contrôle et d’échange sont clairement définis. Finalement, **le niveau 3**, souvent appelé BIM intégré ou *Open BIM*, implique que tous les participants travaillent sur un même modèle, situé sur un serveur centralisé et qui englobe toutes les dimensions du BIM (3 D, 4D : 3D + le facteur temps, 5D : 3D + le facteur coût, etc.).

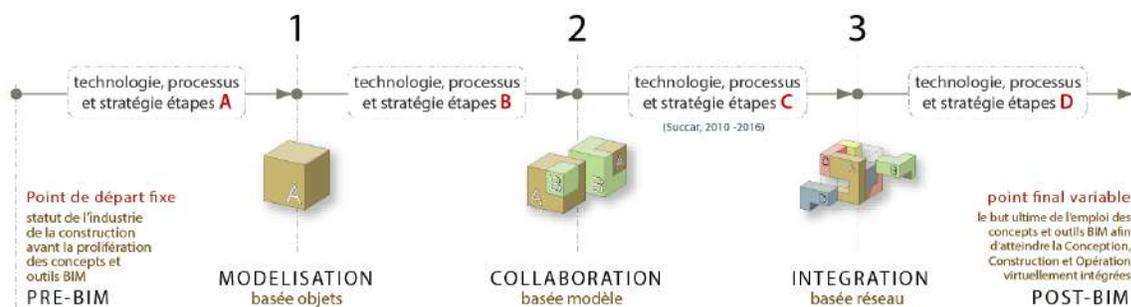


Figure 12 : les niveaux de maturité du BIM [Succar, 2009].

Souvent confondu avec « les niveaux de maturité » qui concernent essentiellement avec quelle précision sont décrits les éléments du modèle, le « niveau de développement » du BIM définit le niveau de renseignement attendu pour les éléments constituant la maquette numérique selon l’avancement du projet [Adeline *et al.*, 2014]. Il faut distinguer deux types de notations : européenne et américaine. En notation américaine, ils s’appellent « *Level of Development* » et on les note : LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350, LOD 400 et LOD 500. En notation européenne, ils sont nommés « niveau de détail » ou « niveau de développement » et on les note ND1, ND2, ND3, ND4, ND5 et ND6. Afin de mieux

distinguer ces niveaux, la figure 3 propose un exemple qui schématise les différentes représentations d'une base d'un poteau suivant chacun des niveaux de développement précités (Figure 13).

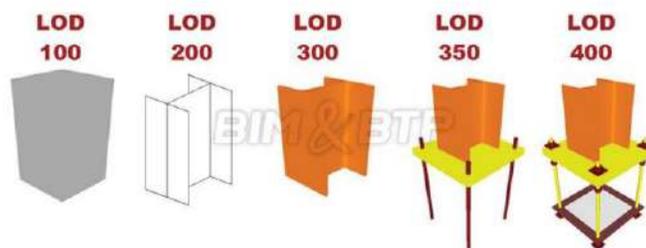


Figure 13 : Croquis d'une base d'un poteau selon les différents LOD [bimbt, blog « Découvrir le BIM », 2016].

Comme illustré, chaque niveau transmet des informations bien précises. En effet, au niveau LOD 100, l'ouvrage n'est qu'un volume sommaire permettant de réaliser des simulations d'aménagement des locaux. Au niveau LOD 200, le poteau devient un ouvrage ayant des caractéristiques mécaniques (résistance à la rupture, limite élastique, allongement, etc.) suffisantes pour effectuer le calcul des efforts et de dimensionnement. Au niveau LOD 300, le poteau est clairement identifié, il possède des dimensions précises (longueur, largeur, épaisseur, etc.) et est associé à un modèle précis de profilés métalliques selon les catalogues de dimensionnement. Au niveau LOD 350, les détails d'assemblage sont encore en étude, mais on peut avoir une idée sur les devis et les pièces à commander. Le LOD 400 est identique au LOD 350, mais inclut en plus les détails de montage. Il servira à l'exécution des travaux sur chantier. Finalement, le LOD 500 qui est aussi identique au LOD 350, inclut en plus les informations précises nécessaires à l'exploitation et à l'entretien du poteau [Adeline *et al.*, 2014].

Une fois le niveau de maturité et de détail BIM précisés, les étapes à suivre pour obtenir une maquette 3D fédérée regroupant toutes les maquettes des différentes disciplines (maquette de l'architecte, maquette de l'ingénieur structure et maquette de l'ingénieur mécanique-électrique-plomberie) se résumant de la façon suivante : Le processus débute par l'étape de modélisation intradisciplinaire durant laquelle les équipes créent des maquettes de conception en respect avec les exigences du plan de gestion BIM. À ce stade, la modélisation n'a pas encore été contrôlée et vérifiée pour un partage entre discipline. Il y a ensuite l'étape

de partage et de coordination interdisciplinaire impliquant un contrôle qualité, une révision de la modélisation et une approbation par le gestionnaire BIM. Vient alors l'étape de réalisation de la maquette fédérée en tant que telle où les maquettes de discipline sont regroupées en une maquette fédérée par l'intégrateur BIM pour une utilisation par tous les intervenants du projet. À chaque étape importante du projet, les maquettes BIM et toutes les informations liées ou contenues dans la base de données centralisée doivent être copiées et archivées sous leur format d'origine pour éviter le risque de perte de documents [Tremblay, 2016].

Une étude menée par Staub-french *et al.* (2018) a tenté de cerner les logiciels les plus utilisés dans le processus BIM. À partir d'enquêtes menées auprès d'architectes, d'ingénieurs, de fournisseurs en éléments préfabriqués et d'entrepreneurs, l'étude a permis de démontrer que le logiciel Autodesk Revit s'avérait le plus utilisé par l'industrie pour réaliser des projets BIM, suivi par Cadworks, Rhino 3D, Trimble SketchUp, Nemestcheck Vectorworks et Autodesk NavisWorks. Les logiciels d'analyse tels qu'ETABS et SAP 2000 ont apparu comme n'étant utilisés que par les ingénieurs en structure.

3.2.3 Les avantages et les limites BIM

Comme toute approche, le BIM présente de nombreux avantages, mais aussi des limites qui varient selon plusieurs facteurs : la responsabilité des parties prenantes qui vont gérer ce processus, les techniques utilisées, la planification mise de l'avant, etc. Notamment, d'après les auteurs, le BIM facilite la gestion et le suivi du projet, augmente la productivité par une meilleure conception du projet et contribue à réduire les pertes grâce à un transfert rapide, fluide et efficace des informations. L'étude réalisée par le CIFE (*Center for Integrated Facility Engineering in Stranford University*) basée sur 32 grands projets utilisant le BIM, avait notamment fait ressortir une élimination jusqu'à 40 % des changements non budgétisés, une réduction jusqu'à 80 % du temps nécessaire pour générer une estimation de coût, une économie pouvant atteindre 10 % de la valeur du contrat et une réduction jusqu'à 7 % du temps de projet [Azhar, 2007]. Toutefois, le BIM nécessite beaucoup d'investissements, d'efforts et de temps pour être maîtrisé, il y a encore quelques zones d'ombres concernant la propriété intellectuelle du modèle 3D et il dépend grandement de l'habileté des acteurs à bien collaborer [Ben Hassine *et al.*, 2014].

3.2.4 Portrait des projets adaptés par le BIM

Malgré l'utilisation croissante du BIM dans les nouvelles structures, la mise en œuvre de cet outil dans les bâtiments existants, précisément lors de la phase de l'exploitation et de la maintenance, reste limitée. En effet, plusieurs études et recherches [Volk, 2014] montrent que l'implémentation du BIM est rare dans les bâtiments existants, en raison des défis posés par les efforts importants de modélisation ou de conversion des données. L'outil BIM est donc davantage exploité pour démarrer de nouveaux projets de construction. Pour choisir les projets de construction adaptés pour l'outil, il faut penser à certains critères (Figure 14).



Figure 14 : Les critères de sélection d'un projet pour le processus BIM.

Les petites entreprises qui viennent juste d'entrer en scène dans le domaine de la construction et qui n'ont pas encore assez d'effectifs et de capacité financière peuvent se lancer plus difficilement dans un projet BIM puisque cela exige un coût d'implémentation et une formation du personnel non-négligeable. Une telle démarche demande également beaucoup de temps pour que la méthode soit réellement maîtrisée [Gu et London, 2010]. De même, le type de projet de construction est important pour faire un tel choix. En effet, les grands projets qui se caractérisent par une architecture compliquée et unique et qui sont partagés par plusieurs acteurs localisés dans différents pays, gagnent à utiliser une méthodologie comme celle du BIM pour garantir une communication saine, une coordination régulière et un échange de données standardisé.

3.2.5 Les acteurs visés

Certes le BIM apparaît comme un processus prometteur pour la planification et la réalisation d'un projet de construction, mais sa réussite exige la participation de tous les acteurs du projet pour que chacun soit capable d'accomplir l'ensemble de ses tâches. À cet effet, de nouveaux postes ont été créés pour s'occuper de la gestion, de la coordination et de l'intégration de l'information au sein du groupe [Forgues *et al.*, 2016], [Ben Hassine *et al.*, 2014]. Ces postes varient d'une entreprise à une autre. En fait, il y a celles qui se limitent à recruter un gestionnaire BIM et d'autres qui choisissent de recruter tout un groupe de spécialistes. Le gestionnaire BIM, appelé aussi *BIM manager*, joue un rôle clé dans le processus. Il doit être polyvalent et conscient des rôles des différents acteurs, de leurs profils et de leurs attentes pour garantir une meilleure coordination entre eux. Il doit également résoudre les problèmes qui peuvent se produire lors de la réalisation du projet de construction, planifier des réunions hebdomadaires pour le suivi de l'avancement de l'équipe et assurer une bonne coordination entre les parties prenantes [Liu et Zhang, 2014].

Ainsi, la revue de la littérature a permis d'introduire les notions de base du BIM et de clarifier les zones d'ombre autour de la méthode. La section suivante portera sur le rôle qu'occupe le BIM dans la construction préfabriquée.

3.3 BIM dans le secteur de la construction préfabriquée

L'Association Nationale de la Préfabrication (A.N.P.B), en France, énonce ce qui suit : « On considère comme conception préfabriquée celle dont les parties constitutives sont en majorité exécutées mécaniquement, dans des ateliers de chantiers ou dans des usines, avec la précision des méthodes industrielles modernes, en vue de former un système cohérent répondant, suivant sa destination, à des conditions de résistance, d'aspect, d'habitabilité et de durée avec le minimum d'entretien » [Vazquez, 2011]. Ainsi, la construction préfabriquée repose sur la construction de certains éléments d'un ouvrage (murs, fermes de toit, etc.) ou de tout l'ouvrage dans une usine, selon une chaîne automatisée ou semi-automatisée. Ces éléments seront ensuite transportés vers le site pour l'assemblage ou vers la destination finale directement s'il s'agit de solutions complètes.

Parmi les avantages liés à la préfabrication, la littérature fait notamment état d'un environnement de travail plus organisé, sécuritaire et contrôlé, d'une réduction de la durée d'exécution des travaux, d'une réduction du bruit sur chantier, d'une réduction des défauts et des reprises, d'une diminution des déchets sur site et d'un gain au niveau du coût total du projet [Mapston et Westbrook, 2010], [Li *et al.*, 2018], [Zhanglin *et al.*, 2017].

3.3.1 L'utilisation du BIM en préfabrication

La construction préfabriquée reposant sur des sites d'opération distincts (usines responsables de la production des structures et chantier), sa planification nécessite une certaine coordination entre la production des composantes préfabriquées, le transport de celles-ci et l'assemblage sur site. Le BIM peut alors s'avérer un outil judicieux pour supporter la réalisation de ces activités [Zhanglin, 2017].

À la phase de planification, le processus BIM permet d'effectuer l'étude et l'analyse de site qui est une tâche importante dans la préfabrication. Selon les informations proposées sur l'espace de construction et les conditions du site, il est possible de modéliser les données pour aider les membres concernés à mieux analyser les contraintes qui peuvent se présenter (trafic, résidents, etc.) et planifier les horaires de travaux sur site. En outre, les logiciels BIM permettent d'estimer plus efficacement la durée des travaux (à partir du BIM 4D : Modèle 3D + le facteur du temps, ce niveau de détail permet de visualiser l'avancement du projet au fil du temps) et le coût du projet (à partir du BIM 5D : Modèle 3D + le facteur du coût, ce niveau de détail permet de calculer le coût total du projet à partir des différents composants du modèle 3D et du prix de chaque composant qui doit être inséré au fur et à mesure de l'avancement dans la modélisation). Lorsque vient le moment de réaliser la conception du modèle et des éléments préfabriqués, le BIM assure la création d'une maquette unique et la présentation des détails des éléments préfabriqués (caractéristiques, type d'assemblage, etc.) ce qui permet de gagner du temps au moment de l'assemblage de ces éléments sur site. À l'étape de fabrication des composantes en usine, la méthode va inciter à un certain contrôle de la qualité via les informations fournies (type de matériau, ses propriétés, les dimensions des composantes, le type d'assemblage, etc.) et les données relatives au stockage, levage et transport des composantes. L'analyse du site préalablement effectuée et les informations propres à chaque composante peuvent alors permettre non seulement une gestion plus

efficace des stocks sur chantier, mais également rendre plus rapide et exempt d'erreurs l'assemblage des éléments préfabriqués. Finalement, les informations présentées par le BIM pendant la phase d'exploitation du bâtiment facilitent la gestion de l'ouvrage et la détection des anomalies puisqu'il y aura un suivi plus simple via la maquette numérique.

Un exemple de projet de construction préfabriquée reposant sur l'exploitation du BIM concerne la construction d'une école secondaire dans la ville de Gastonia en Caroline du nord, États-Unis [Lu et Korman, 2010]. Ce projet d'une superficie de 20 439 m² et d'un montant total de 38 millions dollars a fait appel à la technique de préfabrication pour la conception des salles de classe, incluant les installations mécanique, électrique et de plomberie. Une maquette BIM complète contenant les modèles combinés de l'architecture, du système structurel et du système mécanique-électrique-plomberie a été créée par des spécialistes BIM de l'entrepreneur. La maquette BIM a été largement utilisée pour la coordination entre les différents acteurs lors de phase de conception, la précision de la portée des travaux des sous-traitants, le calcul et la gestion des coûts, et le séquençement du projet. Toute la synchronisation des installations mécaniques, électriques et de plomberie a aussi été réalisée via la plateforme BIM, permettant ainsi la vérification visuelle et la détection d'anomalies. Chaque module de salle de classe a donc été fabriqué hors site, y compris les installations des tuyaux de plomberie bruts et le système électrique. En utilisant le modèle BIM pour ce projet, seulement au cours de la phase de conception, plus 258 conflits ont pu être identifiés et éliminés.

Un autre projet à citer est celui de la gare *Birmingham New Street* au Royaume-Uni, qui consistait à remplacer la «salle des machines» qui diffuse l'ensemble des services mécaniques et électriques de la station. Les objectifs de ce projet étaient de terminer les travaux à temps, d'éviter les impacts sur le fonctionnement de la station, de surmonter les limites structurelles de la structure existante et d'assurer la sécurité des biens et des services. Pour ce faire, la préfabrication a encore une fois été exploitée, en utilisant une nouvelle «colonne vertébrale» structurelle modulaire pour prendre en charge les nouveaux modules de services. La colonne vertébrale faisait 7 mètres de large, 3 mètres de haut et 126 mètres de long, tout en pesant 300 tonnes. Elle se composait d'un total de 11 modules. La logistique entourant le transport et l'installation des modules de la structure devait être planifiée

méticuleusement dès les premières étapes de conception, afin de garantir le bon fonctionnement du projet. Le processus BIM a permis de créer un modèle 3D avec une précision extrême, d'optimiser la productivité et de réduire les délais d'installation des modules. Chaque module est ainsi arrivé dans les délais et exempt de défauts. Le BIM a également contribué à générer une nomenclature pour chaque composant et à faciliter la conception du plan logistique pour assurer une installation réussie. Les avantages combinés du BIM et de la préfabrication ont permis une accélération des travaux, une durabilité environnementale qui a atteint de nouveaux sommets avec une durée de vie nominale de 60 ans de cet ouvrage, une réduction du nombre de personnes sur le site (la main-d'œuvre moyenne n'était que de huit personnes) et une réduction de l'empreinte carbone en réduisant le gaspillage et la distance parcourue vers et depuis le site [Fraser *et al.*, 2014].

Il devient alors intéressant de distinguer les zones communes de l'application du BIM dans la construction traditionnelle versus son recours en construction préfabriquée et les caractéristiques propres à la préfabrication. En examinant des projets discutés dans la littérature [Zhanglin, 2017] et [Lu et Korman, 2010], on peut alors observer que la façon de déployer le BIM dans la construction préfabriquée s'avère pratiquement la même qu'en construction traditionnelle, mais que le rôle joué par le fournisseur de matériaux/composantes est différent. En fait, dans la méthode traditionnelle, le fournisseur n'intervient dans pratiquement aucune phase du processus BIM, sa responsabilité se limitant à fournir des matériaux et des produits de construction (bois, béton, joints, armatures d'acier, etc.) selon la demande de l'entrepreneur. Dans la construction préfabriquée, il devient plutôt un acteur important du groupe BIM. Il est appelé à intervenir dès la phase de conception en fournissant toutes les informations relatives aux éléments préfabriqués à concevoir. Son expertise est mise à profit jusque dans l'exploitation et la maintenance de la construction (Figure 15).

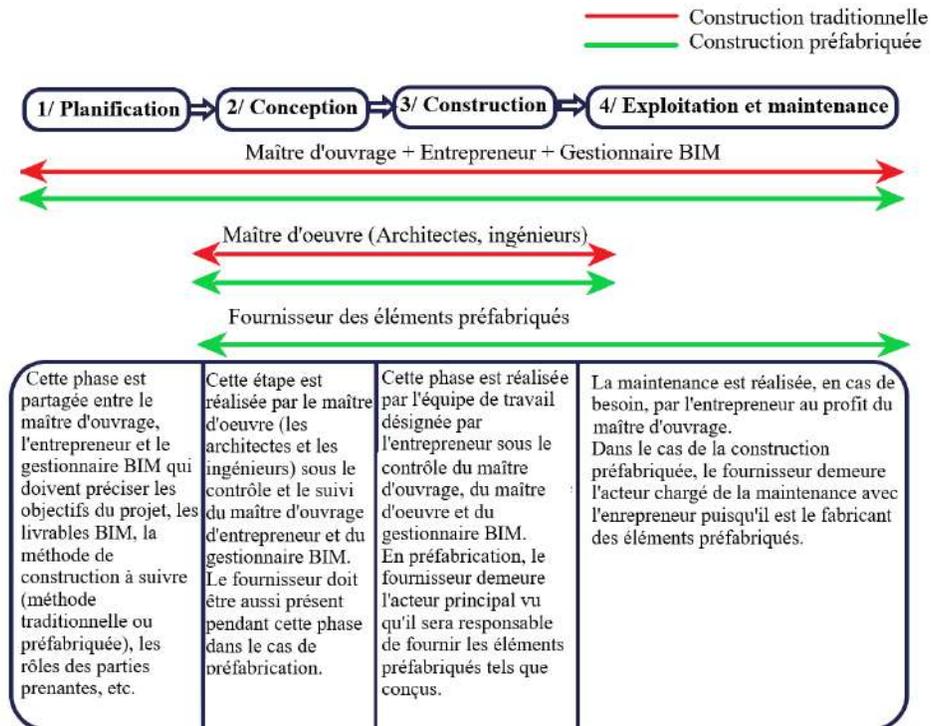


Figure 15 : Distinction entre BIM en construction ordinaire et BIM en construction préfabriquée.

À partir d'études de cas notamment tel que ceux précédemment introduits, les chercheurs ont confirmé que les effets les plus marqués de l'utilisation du BIM étaient la coordination des étapes de conception et de fabrication de même que la détection des conflits, particulièrement pour des projets de construction modulaires nécessitant une coordination soutenue. Le plus grand défi de l'utilisation du BIM dans un projet de construction demeure toutefois sa mise en œuvre, puisqu'il nécessite des ressources importantes et une connaissance approfondie des outils technologiques développés à cet effet. Les acteurs d'un projet en BIM doivent donc consacrer du temps et des heures formation afin de bien intégrer les systèmes BIM à leur plateforme de travail et de les exploiter efficacement.

3.3.2 Cadre préliminaire de l'utilisation du BIM en préfabrication

En s'appuyant sur les études et les recherches réalisées sur le BIM en construction [Gu et London, 2010], [Lu et Korman, 2010], [Forgues, 2017], [Association Cercle Promodul, 2016], un cadre préliminaire d'implantation du BIM pour le secteur de la préfabrication a été élaboré.

La figure 16 illustre les étapes à suivre pour déployer le processus BIM le long du cycle de vie d'un projet de construction qui a recours à la préfabrication. Ces étapes seront détaillées davantage ci-après.

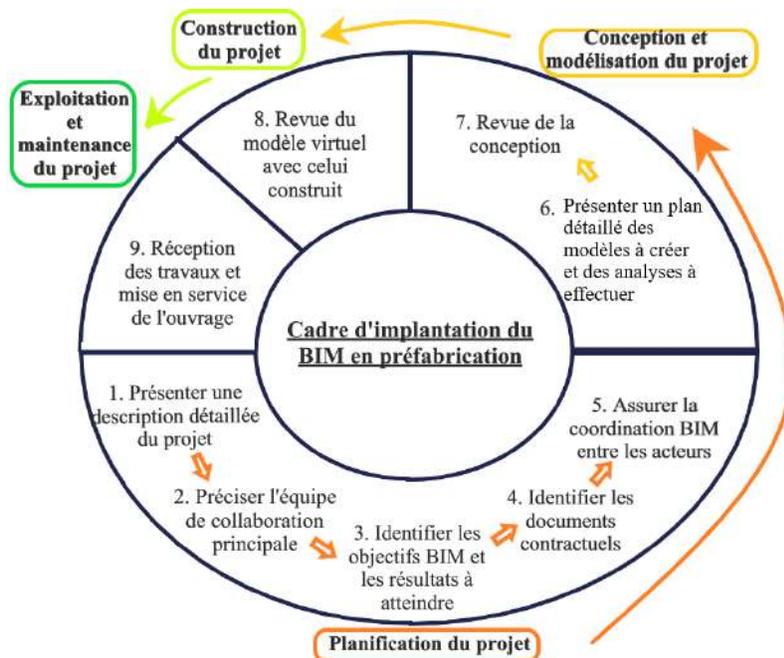


Figure 16 : Cadre d'implantation du BIM en préfabriqué.

1. Phase de planification :

En premier lieu, l'approche BIM implique de présenter une description détaillée du projet (son emplacement, ses caractéristiques, ses phases et leurs échéances, les acteurs impliqués), y compris les éléments qui seront préfabriqués. La planification implique également la conception d'un organigramme indiquant la responsabilité et le rôle de chaque membre de l'équipe, dont celui du gestionnaire BIM, ainsi que les résultats attendus de chaque acteur et la date limite associée. En outre, il demeure nécessaire de bien choisir le fournisseur chargé des éléments préfabriqués dès le début du projet, pour que celui-ci puisse participer à tout le processus BIM. Les objectifs du BIM et les résultats à atteindre dans le projet pourront dès lors être déterminés, permettant de préciser le coût estimé et la durée de réalisation du projet à ne pas dépasser, la qualité souhaitée, le niveau de détail du modèle requis pour les travaux de préfabrication, etc. Les documents contractuels à livrer par chaque membre du groupe devront de plus être précisés, pour garantir une meilleure visibilité et assurer la collaboration entre les parties prenantes. Finalement, un tableau regroupant les outils à utiliser dans le

processus (les logiciels de modélisation, de simulation, etc.), les phases associées et les acteurs appelés à les utiliser aura tout avantage à être défini.

2. Phase de conception :

La conception nécessite de définir un plan détaillé précisant les modèles à créer, le type d'analyse à effectuer à partir de chaque modèle (temporelle, économique, structurelle, énergétique, etc.), l'acteur responsable, le logiciel utilisé et le résultat attendu. La revue de la conception, en général réalisée par le gestionnaire BIM, devient également primordiale en préfabrication afin d'éviter les erreurs lors de l'assemblage des éléments préfabriqués sur site.

3. Phase de construction :

Un contrôle et un suivi des travaux de préfabrication et de construction sur site sont nécessaires pour assurer la conformité entre le modèle virtuel BIM et l'ouvrage construit. C'est aussi à ce moment qu'il devient possible d'évaluer la réussite et l'expertise du groupe travaillant sur le projet.

4. Phase d'exploitation du projet :

La dernière phase vise à assurer le bon déroulement de la mise en service du bâtiment, en présence du maître d'ouvrage, de l'entrepreneur et du fournisseur d'éléments préfabriqués, tout en effectuant la mise à jour des informations du modèle BIM et en archivant les modèles créés et les résultats obtenus via ce processus.

Le niveau de détail que comporte une maquette fédérée, l'information centralisée des différentes composantes préfabriquées de l'ouvrage et des liaisons entre elles, l'analyse initiale du site et le partage des données entre les différents acteurs sont des avantages qui portent à croire que la solution BIM gagnera en importance dans la construction préfabriquée. Si les acteurs sont à même de déployer efficacement la méthode tout en développant les compétences nécessaires à son exploitation, ce secteur niche de la construction ne pourra que gagner en importance dans les prochaines années.

3.4 Comparaison entre le PLM et le BIM : Différences et analogies

Le concept de PLM est issu de la solution *Product Data Management* (PDM) créée dans les années 1980 pour gérer principalement les fichiers de conception obtenus des outils de conception assistée par ordinateur. Au fil des années, les outils PLM ont évolué en termes de portée, ne se limitant plus aux phases de définition et de conception de produits, mais supportant également la fabrication et les opérations qui affectent le produit le long de son cycle de vie [Aram et Eastman, 2013]. Ainsi, le PLM se présente comme une solution technologique ou encore une approche commerciale stratégique fournissant une plateforme partagée pour la création, la gestion et l'échange collaboratifs d'informations entre les parties prenantes le long du cycle de vie d'un produit donné [Jupp et Singh, 2016]. Cette solution a été largement appliquée dans le secteur de l'automobile et de l'aérospatiale.

Plusieurs travaux de recherche ont porté sur la comparaison entre le BIM et le PLM dans le but de développer les stratégies de déploiement du BIM en se basant sur les meilleures pratiques du PLM [Aram & Eastman, 2011], [Boton *et al.*, 2018], [Jupp et Nepal, 2016] et [Jupp et Singh, 2016]. Les différences remarquées entre le BIM et le PLM concernent principalement leur capacité d'intégration technique et organisationnelle, ce qui entraîne des différences dans leur approche en matière de gouvernance des données et de gestion de l'information. Selon plusieurs recherches [Boton *et al.*, 2018], [Jupp et Nepal, 2016] et [Jupp et Singh, 2016], ces différences sont dues essentiellement à la nature même de l'industrie de la construction par rapport à celle de l'automobile ou de l'aérospatiale. En effet, deux éléments principaux semblent distinguer les deux secteurs, soit l'aspect structurel et la forme de gouvernance [Green *et al.*, 2005]. Au niveau structurel, le domaine de la construction s'avère très vaste mais aussi très fragmenté et localisé. La fragmentation verticale concerne le fait qu'un projet de construction est divisé en plusieurs phases plus ou moins courtes (planification/modélisation/construction/mise en service/maintenance). La fragmentation horizontale est liée au fait que plusieurs interactions entre différentes disciplines se produisent pendant la même phase, notamment l'interaction entre l'architecte, l'ingénieur en structure et celui MEP à la phase de conception. De plus, la concurrence entre les entreprises de construction se fait davantage sur les coûts que sur les compétences techniques. Un autre

facteur à noter est la clientèle visée qui semble très diversifiée dans la construction. En revanche, le domaine de l'aérospatiale est apparu fortement consolidé au cours des dernières décennies en raison de pressions concurrentielles considérables, ce qui a mené plusieurs grands acteurs de l'industrie aérospatiale à collaborer ensemble. Par conséquent, ce secteur est dominé par de grandes entreprises possédant une expertise technologique beaucoup plus étendue dans l'ensemble de la chaîne de valeur. En outre, sa clientèle semble être plus spécialisée par rapport à celle de la construction qui est beaucoup plus large.

Au niveau de la gouvernance, les entreprises du milieu de la construction semblent caractérisées par une grande flexibilité dans la mise en œuvre de leur processus de même que par des méthodes de travail qui ne sont pas toujours documentées, voire « volontairement » informelles. Cela rend notamment plus difficile la traçabilité des informations [Green et al., 2005] et [Kubicki, 2006]. Ces différences auront une forte influence sur le mode de déploiement et de fonctionnement de chacune des deux approches en termes de coût et de temps alloué, de compétences requises, de plans d'affaires à mettre de l'avant ainsi que de précautions à prendre pour assurer un bon transfert des informations.

Cependant, le BIM et le PLM partagent un certain nombre de similitudes en ce qui concerne leur approche en matière de partage de données, de gestion de projet et d'organisation des équipes de travail. Jupp et Nepal ont de plus montré que le déploiement de ces deux approches rencontre souvent les mêmes problèmes liés aux changements dans les pratiques professionnelles et aux changements culturels. Ces défis découlent d'une variété de nouvelles activités qui modifient la nature des rôles et des responsabilités professionnelles au niveau de l'entreprise et des projets. Ces changements nécessitent non seulement le développement de nouvelles compétences techniques, mais aussi le développement de nouvelles compétences en matière de connaissances et de relations avec les intervenants.

Les défis découlant de ces caractéristiques communes peuvent constituer un terrain fertile pour le partage de leçons apprises de chaque approche (Jupp and Nepal, 2016) (Botton *et al.*, 2018).

3.5 Conclusion

Le transfert intensif d'informations et de documents entre les parties prenantes d'un projet de construction et la communication parfois difficile entre les corps de métier retardent

l'avancement de nombreux projets tout en causant des erreurs de conception non négligeables. Ainsi, le BIM s'avère une solution prometteuse pour minimiser de tels problèmes et favoriser la collaboration entre les acteurs du secteur de la construction. Il demeure toutefois fondamental que les membres de l'industrie comprennent bien les fondements de l'approche et la façon de la mettre en pratique.

Cet article vise à présenter les notions de base du BIM en tant que nouveau processus dans le domaine de la construction en général et dans le secteur de la préfabrication en particulier. En premier lieu, les différentes définitions qui lui sont associées, ses objectifs, son mode de fonctionnement, ses avantages et ses limites ont été explicités. Par la suite, le domaine de la préfabrication et l'utilité du BIM dans ce domaine ont été abordés. Un cadre d'implantation du BIM dans le préfabriqué a été introduit, dans l'optique de favoriser son utilisation par cette industrie. Finalement, une comparaison entre le BIM et le PLM, en tant que deux approches similaires, a été effectuée dans le but de déterminer la possibilité d'appliquer des pratiques issues de la méthode PLM au profit du BIM. Ce travail résulte d'un avancement progressif de la recherche sur les questions qui se posent autour du BIM en tant qu'une nouvelle approche de planification et de gestion. Pour consolider cette étude, des visites terrain des entreprises québécoises spécialisées dans la préfabrication et qui ont déjà adopté cet outil ainsi que des entrevues semi-dirigées avec différents acteurs dans le domaine de la construction (des architectes, des ingénieurs, des gestionnaires BIM, etc.) seront réalisées. Le cadre pourra dès lors être précisé et un portfolio de structures organisationnelles proposé suivant la nature du projet préfabriqué mis de l'avant.

3.6 Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada pour son support financier via l'initiative de recherche de la Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB) et l'Initiative sur la construction industrialisée (ICI) de même que les partenaires industriels ayant participé au financement du projet.

3.7 Références

- Aram, S., & Eastman, C. (2013). Integration of plm solutions and bim systems for the aec industry integration of plm solutions and bim systems for the aec industry.
- Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2007). Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges. *BIM-Benefit Measurement*, 18 (9), 11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Ben Hassine, M., Collot, P., Dionne, J.-P., Frenette, S., & Raphaël, S. (2014). Le BIM : Planifier pour mieux collaborer Discussion sur la planification des projets en mode BIM : Synthèse et recommandations, 24 p.
- Boton, C., Rivest, L., Forgues, D., Jupp, J., Botton, C., Rivest, L.,... Plm, C. (2018). Comparing PLM and BIM from the Product Structure Standpoint To cite this version : HAL Id : hal-01699720 Comparing PLM and BIM from the Product Structure Standpoint.
- Boutemadja, A. (2016). LE BIM, UN ENJEU MAJEUR POUR LES ARCHITECTES. *Ordre des Architectes en Belgique*.
- Edwards, W. (2016). National BIM Standard—United States © Figure 1—BIM technology means a change anywhere is a change everywhere. Graphic courtesy of (NBIMS-USTM)
- Eastman, C., Liston, K., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook* Paul Teicholz Rafael Sacks. <https://doi.org/2007029306>
- Forgues, D., Monfel, D., & Gagnon, S. (2016). *Guide de conception d ' un bâtiment performant*. Québec, Gouvernement.
- Fraser, N., Race, G. L., Kelly, R., Winstanley, A., & Hancock, P. (2015). *An Offsite Guide for the Building and Engineering Services Sector*.
- Gallaher, M. P., O'Connor, A. C., Dettbarn, J. L., Jr, & Gilday, L. T. (2004). *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U. S. Capital Facilities Industry*. NIST GCR 04-867
- Glema, A. (2017). Building Information Modeling BIM—Level of Digital Construction. *Archives of Civil Engineering*, 63 (3). <https://doi.org/10.1515/ace-2017-0027>
- Green, S.D., Fernie, S., Weller, S.: Making sense of supply chain management: a comparative study of aerospace and construction. (2005).
- Gu, N., & London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in Construction*, 19 (8), 988–999. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002>

- Ham, N. H., Min, K. M., Kim, J. H., Lee, Y. S., & Kim, J. J. (2008). A study on application of BIM (Building Information Modeling) to Pre-design in construction project. Proceedings—3rd International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, ICCIT 2008, 1, 42–49. <https://doi.org/10.1109/ICCIT.2008.190>
- Jupp, J., & Nepal, M. (2016). BIM and PLM : Comparing and Learning from Changes to Professional Practice Across Sectors To cite this version : HAL Id : hal-01386474 BIM and PLM : Comparing and learning from changes.
- Jupp, J., & Singh, V. (2016). Similar Concepts, Distinct Solutions, Common Problems : Learning from PLM and BIM Deployment To cite this version : HAL Id : hal-01386473 Similar Concepts, Distinct Solutions, Common Problems.
- Kalinichuk, S. (2015). Building Information Modeling Comprehensive Overview. Journal of Systems Integration (1804–2724), 6 (3), 25. <https://doi.org/10.20470/jsi.v6i3.235>
- Kubicki, S.: Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiments, Une approche par les modèles pour la proposition d'outils de visualisation du contexte de coopération, (2006).
- Kunz, A. (2011). Global project delivery systems using BIM. ASCE 2011, 472–479.
- Li, C. Z., Xue, F., Li, X., Hong, J., & Shen, G. Q. (2018). An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. Automation in Construction, 89 (July 2017), 146–161. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.001>
- Liu, H., & Zhang, L. (2014). Lessons Learned from Case Projects and Enterprises Where BIM Was Utilized, 961–968. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35548-6>
- Lu, N., & Korman, T. (2010). Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Modular Construction : Benefits and Challenges. Construction Research Congress, 1136–1145.
- Mapston, M., & Westbroo, C. (2010). Prefabricated building units and modern methods of construction (MMC). Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings, (Mmc), 427–454. <https://doi.org/10.1533/9781845699277.2.427>
- Martine Roux, Esquisses, vol. 27, no 2, été 2016, Ordre des ingénieurs au Québec
- Miettinen, R., & Paavola, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. Automation in Construction, 43, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>

- Promodul, C. (2016). Le BIM : 6 questions pour comprendre et agir, 1–29.
- Staub-french, S., Poirier, E. A., Calderon, F., Chikhi, I., Zadeh, P., Chudasma, D., & Huang, S. (2018). Building Information Modeling (BIM) and Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) for Mass Timber Construction.
- Tremblay, S., Sasseville, O., Lavoie, I., Barbeau, M., Louis, J., Grenier, D.,... Keenliside, S. (2016). Guide D ' Application Du Bim à la société québécoise des infrastructures. (S. québécoise des Infrastructures, Ed.) (Version 1.)
- U.S. General Services Administration. (2007). GSA Building Information Modeling Guide Series 01—Overview. Program, 41. Retrieved from http://www.gsa.gov/graphics/pbs/GSA_BIM_Guide_v0_60_Series01_Overview_05_14_07.pdf
- Vazquez, A. R. (2011). L ' industrialisation du bâtiment : le cas de la préfabrication dans la construction scolaire en France (1951-1973) To cite this version : HAL Id : tel-00554230 L ' industrialisation du bâtiment Le cas de la préfabrication dans la construction scolaire.
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Waterhouse, R., Johnston, J., Barker, P., Malleson, A., Sinclair, D., Philp, D., ... Rock, S. (2018). National BIM Report.
- Zhanglin, G., Si, G., & Jun-e, L. (2017). Application of BIM technology in construction bidding. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 100 (1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/100/1/012178>
- <https://bimbt.com/premium/les-niveaux-de-detail-dune-maquette/>

Chapitre 4 : Best Practices for Implementing Building Information Modeling in the Prefabrication Sector

L'article intitulé « Best Practices for Implementing Building Information Modeling in the Prefabrication Sector » a été soumis le 15 Octobre 2019 à la conférence « ILS : Information, Logistics and Supply chain ». La version publiée est identique à la version présentée dans ce mémoire.

Résumé

Aujourd'hui, le *Building Information Modeling* (BIM) semble être un atout pour faire face à l'écart qui peut se produire en présence de plusieurs outils, différentes disciplines et différents niveaux d'expérience dans la construction. En fait, cette approche aide les parties prenantes à parler un même langage en travaillant sur le même modèle 3D. Néanmoins, l'implantation du BIM pose des défis intéressants liés à plusieurs aspects, notamment le facteur humain. Ainsi, cet article vise à présenter les meilleures stratégies pour implanter le BIM dans les PME et à mettre en lumière les meilleures pratiques pour surmonter les principaux obstacles lors de cette transition. À travers une revue de la littérature et des entrevues semi-dirigées, les principaux résultats portent sur l'impact des barrières humaines sur ce processus, l'importance de commencer la phase d'implantation en analysant les processus d'affaires actuels de l'entreprise afin de maximiser les avantages BIM ainsi que d'établir un plan stratégique pour définir les principales étapes et les différents facteurs de ce virage numérique et donc mieux encadrer et supporter les personnes impliquées.

Abstract

Nowadays, Building information modeling (BIM) seems to be an asset to face the gap that may occur in the presence of several tools, various disciplines and different experience levels in the construction industry. In fact, this approach helps stakeholders speak a common language by working on the same 3D model. Nevertheless, implementing BIM raises interesting challenges linked to many aspects, especially the human resource factor. Thus, this paper aims to reveal the best strategies to implement BIM in SMEs and to highlight the best practices that help face the main barriers during this phase. On the basis of a literature review and semi-structured interviews, the most notable findings are the impact of human barriers which are significant, the importance of starting the implementation phase by analyzing the company's current business processes so as to maximize BIM benefits, as well as, setting a strategic plan to outline the main steps and the different factors of this digital shift in order to better lead and support the whole staff.

4.1 Introduction

During the post First World War period, off-site construction appeared as the best technique to provide numerous temporary and emergency prefabricated buildings such as houses and schools (Newton *et al.*, 2018). Due to its potential benefits such as saving time, improving labor productivity and enhancing project quality (Zhanglin, Si and Jun-e, 2017), this industry has been widely spread all over the world, particularly in Canada. Likewise, Quebec remains the leading province in this field as it provides 29.7% of Canadian manufactories in 2015 (Forgues, Rivest and Collot, 2016). Nonetheless, construction projects have been known for their fragmentation, complexity, and challenges (Egbu and Coates, 2012) due to the involvement of different stakeholders from various fields (architectural, structural, electrical, mechanical, etc.) and other factors such as deadlines, budgets, human resources, etc. Thus, an approach such as Building Information Modeling (BIM) seems to be an efficient way to face these challenges and to better achieve prefabrication benefits. In fact, it aims to facilitate communication and coordination between stakeholders along different phases of a construction project using a shared 3D model containing relevant information about the building. However, transition from a traditional method to BIM requires investments in terms of budget, time and skills. These requirements may seem risky for small and medium enterprises (SMEs) that represent the largest proportion of the construction industry in Canada (99.8% in 2017 (5. <http://www.ic.gc.ca/eic/site/061.nsf/fra/accueil>, no date)). Even though BIM has captured academics' and practitioners' attention over the years, finding a specific methodology to implement and manage the approach, especially in SMEs, remains an open question.

Hence, this study aims to reveal the best strategies for BIM deployment in SMEs as well as to highlight the best practices to support the firm's progress while avoiding issues. To do so, a series of semi-structured interviews were conducted with several BIM experts.

This paper will be divided into three main sections. The first one proceeds with a review of relevant literature that highlights the baselines of BIM. The second section outlines the methodology used to better conduct the interviews, and the third presents the results of the study. Finally, a conclusion summarizes the main achievements and perspectives.

4.2 Literature review

In order to outline the baselines of BIM and its potential in the prefabricated sector, the first part of this project was dedicated to a literature review. Thus, several key words, such as BIM, Building Information Modeling, implementation, deployment, prefabricated construction, prefabricated building, prefabrication, off-site construction, best practices, medium and small firms, etc., were used to formulate the search criteria used in different databases, such as Compendex, Inspec, Proquest and Web of Science.

4.2.1 BIM definition and process

As a broad approach, many definitions have been associated to BIM (Building Information Modeling) over time. Some researchers and professionals see it as a 3D modeling software, others consider it as a new technology, while some define it as a new process that aims to facilitate communication and coordination between the stakeholders as well as management of a building project (Succar, 2009b; Barlish and Sullivan, 2012; Miettinen and Paavola, 2014; Forgues, Rivest and Collot, 2016; Antwi-afari, Li and Edwards, 2018; Herr and Fischer, 2019). Another relevant definition, cited in the BIM Handbook (Eastman, Liston and Sacks, 2008), introduces BIM as a modeling technology and associated set of processes to produce, communicate, and analyze building models. To avoid confusion, many authors use three key concepts to clarify the BIM process: Model, Modeling and Management (Azhar, Hein and Sketo, 2007), (Poirier, 2018), (Staub-french *et al.*, 2011). To sum up, Building Information Modeling can be defined as a new way of working on a building project, based on a strong collaboration between stakeholders using a 3D model created via the advanced software. Used properly, it provides an efficient way to share information along the project lifecycle, leading to several benefits such as better project management and monitoring.

In order to describe the BIM process, we will first define the main levels of this process that are presented in figure 17: level of maturity, level of capability and level of development.

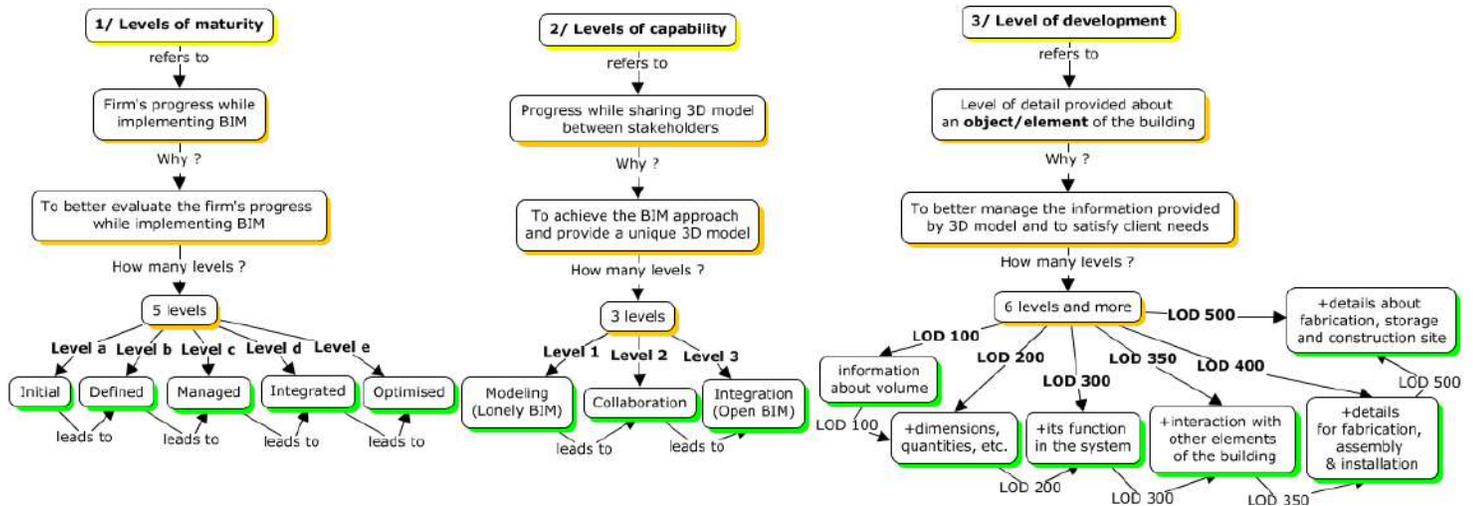


Figure 17: The relevant levels of BIM.

The maturity level refers to the performance improvement milestones that organizations, teams and the whole market aspire to achieve while implementing BIM. There are five levels according to Succar BIMMI (BIM Maturity Index) (<https://www.bimthinkspace.com/2009/12/index.html>, no date) (Dakhil, Underwood and Shawi, 2019): the first level is called “Initial” as it is the first step of BIM deployment. BIM tools are installed but there is a shortage of defined processes, responsibilities, goals, etc. as when working with traditional method while using BIM software. The second one, called “Defined”, is characterized by well-defined baselines of this approach. The third level “Managed level” refers to a better management of the whole process. This level is known for an efficient communication and a better understanding of the BIM process but productivity is not yet predictable. The fourth one, called “Integrated level”, is characterized by better quality management and performance improvement through performance benchmarks. The productivity is consistent and predictable compared to the previous level. The last level “Optimized level” leads to review and updating of different factors related to the BIM approach (strategies, processes, tools, contractual models, etc.) in order to align it with the company’s target. The capability level refers to the expertise of the company while using BIM and sharing the 3D model (Succar, 2009a). In fact, there are three levels of capability: the first level is called “modeling/Lonely BIM” as each actor will be interested in his/her own model, the second one is called “collaboration” so all stakeholders will exchange their models for a better communication. The third level known as “Integration/Open BIM” requires an integration of different models (architectural, structural, MEP, etc.) in order to

make one shared 3D model that will be used in the following phases of the construction project (Lapointe and Murat, 2017). The level of development (LOD), refers to the information provided to introduce an element of the building in the 3D model. From one level to another, more details will be provided (dimensions, materials, connection details, etc.).

Based on the previous concepts, the BIM process starts with an intradisciplinary modeling, after a planning phase, in which every actor (architect, structural/MEP engineer) creates his/her own model. Once a quality control, a revision and an approval are made by a BIM expert of each department, models will be shared between those actors in order to ensure a better coordination and communication. The last step leads to the creation of a unique 3D model that will be shared and used by stakeholders to detect any conflict or error before the construction phase. This 3D model is called a federated model (Tremblay *et al.*, 2016).

4.2.2 BIM benefits and limits

During the last decade, the construction industry faced a notable transition towards the BIM approach given the advantages offered by this new process. Many authors studied these benefits with interest in order to quantify their effect on a firm's progress (Gray *et al.*, no date; Barlish and Sullivan, 2012; Kalinichuk, 2015). The most commonly reported benefits are enhancing communication and coordination between the stakeholders through centralized information, reducing the total cost and duration of the project, enhancing the quality of the building and increasing the productivity and safety of the employees (Poirier, 2018). Moreover, many advantages could be deducted through different BIM applications such as clash detection that allows to avoid a lot of errors and rework during the construction phase, a better visualization via the shared 3D model, better scheduling offered via BIM 4D, cost estimation through BIM 5D and so on (Forgues, Rivest and Collot, 2016; Lapointe and Murat, 2017), as shown in Table 4.

Table 4 : BIM benefits based on BIM dimensions and applications.

BIM 3D Modeling	BIM 4D Scheduling	BIM 5D Cost estimation	BIM 6D Sustainability	BIM 7D Facility management
Better visualization; More details; Better coordination/ communication; Clash detection.	Project phasing simulation; Sequencing of activities on site; Avoiding delays; Better monitoring of the project.	Quantity extraction to support cost estimate; Risk management; Order checks through fabrication models.	Energy analysis; Performance analysis; Sustainable tracking; Better quality.	Better facility management; Better operation of the building during its lifecycle; Maintenance plans and technical support.

Although it has numerous potential benefits, BIM raises interesting challenges and barriers that may be faced during the implementation phase. These barriers are related to resistance to change from the staff, several tools and software, the confidence level between stakeholders, lack of data integration and intellectual property of 3D model, etc.(Ben Hassine *et al.*, 2014). In fact, the deployment and efficient operation of BIM in a company require a systematic effort from various teams and multiple disciplines with problem solving interactions throughout the project lifecycle (Chan *et al.*, 2018). Moreover, many other issues may occur such as lack of sufficient knowledge of BIM, need of well-trained staff, lack of well-defined objectives, misunderstanding of the client’s needs, interoperability problems and low rate of return in investment (ROI) that requires a longer time to profit from BIM, etc.(Holzer, 2015)(Kouch, Illikainen and Perälä, 2018).

4.2.3 BIM in prefabrication

Prefabrication is a vast concept that refers to any element of a building (truss, floor, module, etc.) that has been fabricated in a location other than its final location (workshop, factories, etc.) to be transported, installed and assembled on site (Newton *et al.*, 2018). Compared with traditional methods of construction, the global demand for prefabricated buildings is increasing due to its energy and time savings, environmental considerations, as well as quality and safety improvement. In fact, producing most of the elements in a factory improves

working conditions and speeds up the project progress (Cribbs, 2016) (Zhanglin, Si and Jun-e, 2017). According to a recent survey, the typical process used by most manufacturers in Quebec is based on three main axes: design, fabrication and installation (Lapointe and Murat, 2017). The design phase includes project definition, task identification and preparation of relevant documents (plans, contract, etc.) that take place in the offices. The fabrication stage takes place in the factory and consists of construction and assembly of prefabricated elements. The last step includes transportation, installation, on-site assembly and finishing of the modules to deliver the final building.

Despite its numerous advantages, prefabrication faces the same problems and issues that may affect any construction project such as lack of coordination and communication between stakeholders especially during the design phase, shortage of details and information sharing that leads to interference problems during the construction stage and on-site storage problems. Thus, BIM helps resolve these problems and achieve better prefabrication benefits due to its capacity to promote effective information exchange while also automating several steps in the design, estimation, and planning phases (Barkokebas, Zhang and Ritter, 2017). Applying BIM in the prefabrication sector will be detailed based on the three main axes of this process. At the planning and design stage, BIM brings several applications including: information sharing, visualization, modeling, code reviews, site planning and analysis, fabrication drawings, communication, cost estimating, construction sequences, and collision detection (Lu and Korman, 2010). Moreover, accurate building information not only provides support to the estimation department but also enables an increased level of detail for production scheduling and for simulation that is frequently used in this field for production line performance assessment (Barkokebas, Zhang and Ritter, 2017). During the manufacturing phase, several advantages could be noticed such as better quality control using accurate information of the 3D model and better management, monitoring and optimization of the production line using the efficient simulation offered by BIM tools (Luo and Chen, 2018). Regarding the last phase which is the installation of prefabricated components on site, the use of BIM 4D allows to simulate different processes (transport, storage, lifting, etc.) which optimizes component inventory and site management. Thus, combining prefabrication with BIM can significantly lead to time/cost/energy savings, emission reduction and green

environmental protection, which plays a great role in bolstering the transformation and upgrade of Canada's construction industry.

4.3 Methodology: Main steps to conduct the interviews

The second part of this project consists of conducting a series of interviews with BIM experts in order to collect relevant information from the industry as to the state of BIM adoption in Canada. From these interviews, a set of best strategies and practices will be developed to help SMEs make this digital shift.

In particular, a list of open-ended questions was first developed so as to get a better picture of the BIM approach and its deployment process. Fifteen questions was prepared, covering various aspects such as: experience of each participant and her/his background in BIM, BIM benefits, challenges and barriers faced while implementing this approach, the most suitable projects for BIM, strategies and steps taken to implement BIM, the best practices to progress via BIM, tips to maintain better communication and coordination between stakeholders, the role of each actor, the group hierarchy to better conduct this approach, the best software for the prefabrication sector, the most reluctant actors and the reasons leading to this behavior, etc. After that, a list of nine interviewees was established based on experts' experiences with BIM. The experts had different backgrounds and various positions (researchers, architects, engineers, BIM managers, BIM directors, etc.) and came from different organizations (government company, private consulting company, nonprofit organization, universities, etc.). They are known as the leaders of BIM in Quebec and their experience in this field ranges from two to twelve years with an average of eight years. Then, a series of meetings with the experts were planned. Different types of meetings (via Skype, phone or face-to-face) were proposed to facilitate this task. During the meetings, permission to record the interviews was obtained. The voice recordings were then transcribed into word files and imported into QDA Miner software for a qualitative analysis leading to a framework for the best strategies and practices to implement and conduct the BIM process. The main results are detailed in the next section.

4.4 Analysis and results

As explained previously, the use of QDA Miner allows for a better analysis of the massive amount of information collected during the interviews. Only the most important findings will be discussed in this section such as barriers for BIM deployment and best strategies and practices to implement the approach.

4.4.1 Main barriers for BIM implementation

The interview analysis lead to five main barriers to BIM deployment: human, technological, financial, organizational and contractual. Figure 18 shows the importance of each barrier in terms of percentage.

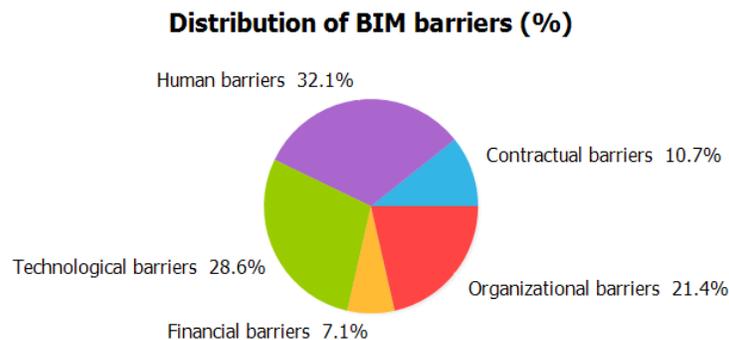


Figure 18: Distribution of BIM barriers according to the interview analysis.

Technological barriers arise in the form of various tools that may be used without planning or proficiency, as well as, information reliability and interoperability problems when goals are undefined. Organizational issues refer to management problems such as the absence of a management plan, lack of coordination between technical and BIM staff and information overload that must be well managed and used. Regarding financial barriers, it is mainly based on the cost and time investment required for BIM implementation. Most of this investment is spent on purchasing software, personal training, and recruiting specialized staff so the main challenge is to justify and explain these costs to project stakeholders (Sardroud, Mehdizadehtavasani and Khorramabadi, 2018). Contractual barriers are highly linked to classic contract forms and the intellectual property of the 3D model. According to the interview results, 77.8% of experts think that the 3D model is not yet a contractual document but should be shared while 22.2% think it is a contractual one, whereas all of them think that, sooner or later, it will be a contractual document. Hence, some conflicts may occur between

stakeholders and prevent them from having a clear view of their responsibilities and rights. Furthermore, the BIM approach is based on information sharing, liability and collaboration between stakeholders that require a new form of contract to outline the role of each actor and emphasize sharing responsibilities and risks. As claimed by most of the interviewees, the new contract must be seen as a management plan that aims to highlight the goals of the project and of using BIM, to organize the relations between actors, to clarify responsibilities and risks, to put the light on information sharing and to set the standards that will be used along the project. Regarding human barriers, this category seems to be the riskiest one as mentioned previously, so it will be interesting to reveal its different forms as well as the best practices to manage them. The most prominent ones arise in the form of resistance to change, lack of communication, skills shortage, lack of information sharing, weak sense of responsibility, misunderstanding of the BIM approach, bad habit of working at the last minute unlike the BIM process that requires a great effort at the early stage, etc. In order to face these barriers, rigorous planning, continuous training and team support must be taken as serious actions, see Figure 19.

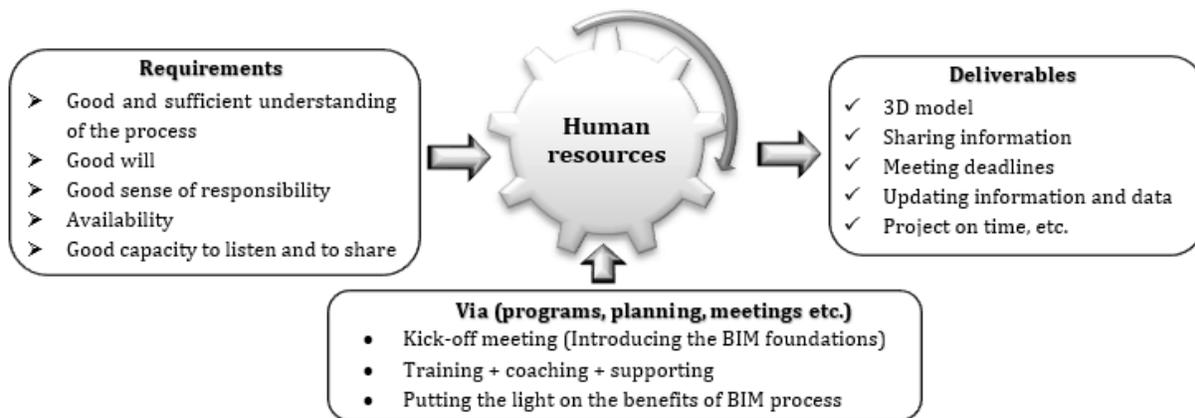


Figure 19: Human resources as a driver of the BIM process.

4.4.2 Best strategies to implement BIM in SMEs

Based on the interview outcomes, we were able to establish a BIM deployment framework in order to facilitate this phase, especially for SMEs, as shown in Figure 20. According to the experts, the BIM deployment process can be divided into three main axes: analysis, planning & conducting and piloting & monitoring (Kouch, Illikainen and Perälä, 2018)(Egbu and Coates, 2012). The first axis is based on two main steps. In fact, all of the experts claimed that deploying BIM is innovating and improves the firm’s existing situation, so it must start

by analyzing this situation. Thus, the first step will be dedicated to examining the current situation of the company using process mapping, surveys or SWOT (Strength, Weaknesses, Opportunities and Threatens) analysis. This step aims to reveal the company's current means (processes, human resources, financial state, IT tools, standards, etc.). Moreover, the company must pay attention to the maturity and capability levels that have been introduced in the literature review, so as to better monitor its evolution while implementing BIM. Then, based on this analysis, the company should be able to detect the issues and areas of improvement in the current business model and identify the most profitable BIM application to implement first in order to enhance the existing situation. Once identified, a roadmap or strategic plan must be set up as a reference for BIM deployment. This plan includes answers and details about the main questions (U.S. General Services Administration, 2007): Why implement BIM (to increase productivity, to save time and cost, to be more competitive, to increase market share, etc.)? Who are the main actors of this process (BIM director, BIM manager, BIM coordinator, etc.)? Their roles and responsibilities? Their benefits? BIM applications to use in the first stage and how to make this transition? Different steps and tools used to do so? How to share information? What are the deliverables? Then, senior management has to establish the committee that will be responsible for this process deployment (assign members, their roles, required skills, availability, etc.). Once this plan is set, a kick off meeting must be planned in order to better introduce the BIM approach to all members. During this meeting, everyone will obtain a clear view of the responsibilities of each one, as well as, the deliverables that must be provided and the deadlines. Hence, this meeting aims to highlight the main steps, concepts and rules to better conduct BIM deployment. The tools required by the main committee, such as software and hardware, must also be set up at this point. Furthermore, all respondents agreed that an important step in the planning phase consists of aligning BIM processes with the current ones. Once tools are installed, staff is ready and all the concepts are clear, the next step will be dedicated to applying BIM in a pilot project in order to test it and to evaluate the firm's progress using this new approach. It is important to choose an appropriate pilot project as it is the first project realized using BIM. In this case, it is better to avoid critical projects limited by a short duration and/or an important budget. Finally, during the interviews, most of interviewees pointed out the need to set key success factors for BIM deployment assessment. These key

factors may refer to time and cost saving, productivity increase, quality improvement, etc. Finally, meeting, reviewing and updating must be done after each step.



Figure 20: The main steps of BIM deployment.

4.4.3 Best practices for BIM adoption

Based on barrier classification, best practices will be related to each barrier class. Thus, there are five classes of best practices, linked to human resources, technologies, organization, financial and legal aspects. In the first class, one of the best practices is to better understand the different positions and responsibilities of each actor in order to ensure good functioning of the BIM process. According to most of the interviewees, the roles to occupy in a BIM approach are classified into three main functions, as shown in figure 21: management, coordination and modeling. The management function is given to a BIM manager/director who has the strategic vision and conducts the deployment phase. According to most of the interviewees, the BIM process can function without a BIM manager or director, but needs someone who has this vision to establish training plans, standards at the office level, to set best practices, to coach and support the group and to gather resources on the project, whatever its status. The coordination function is covered by the BIM coordinator or creator who has to ensure that the models respect the requirements, that they are well integrated and functioning, and to monitor the model evolution and project progress. The modeling function is delegated to the BIM modeler who should create and manage the 3D model based on the client needs so he/she must be well-skilled in using the basic modeling software.

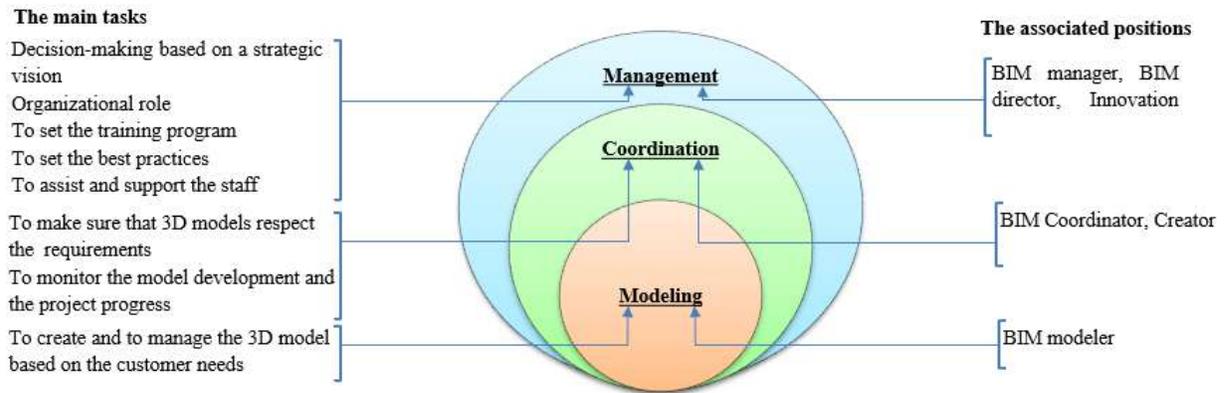


Figure 21: Three main functions in the BIM process.

The previous main classes of responsibilities must be present in each company in order to help stakeholders to better integrate the BIM approach and to achieve its benefits. Due to the importance of human resources in the BIM process, all respondents pointed out the need to support and coach BIM staff, to keep them motivated by sharing successful experiences and relevant knowledge, as well as, the main information about the company's progress. Furthermore, one of the main elements revealed in the interviews concerning this factor was to initially limit the number of members on the BIM committee and to ensure that they are given the time and resources to master this task. Then, they can become facilitators for the company. Another relevant practice is to invest considerable effort in the early stages of the project (planning and design phase) as it affects the following phases. It is also important to start the BIM transition with people who support this approach in order to create a favorable first BIM experience that will be shared among the group. Regarding the technological field, the committee must choose the right IT tools for the company's needs that will bring benefits and fit with group skills as well as the software that allows file exchange without interoperability problems. For the organizational factor, it seems better to start working with BIM 3D and to avoid working on all BIM dimensions at an early stage of the implementation. In fact, one of the most common mistakes made by some companies is aiming to reach all BIM applications from the first stage of BIM deployment without checking on the company maturity and capability levels. This mistake requires enormous effort and raises high risks. Another tip proposes to simplify and to facilitate the BIM process by avoiding the use of various tools and software so that standardization of practices (conventions, file extensions, data forms, etc.) helps offer better team support and process operation. Finally, it is extremely important to provide reference manuals and handbooks and to keep detailed records

documenting each step. As for the legal aspect, it seems relevant to look for a new kind of contract that encourages the collaborative process, information sharing and outlines professional responsibilities. In fact, one of the new forms, mentioned during the interview, that may fit with the BIM approach, is CCDC 30 which is a new form of contract called Integrated Project Delivery Contract specific to IPD projects including scope allocation, payments, changes, conflict management, termination, insurance and contract security, and liability allocation (<https://www.ccdc.org/document/ccdc30/>, no date). In addition, intellectual property of the 3D model must be clarified at the beginning of the project to avoid conflicts throughout the execution. Finally, regarding the financial aspect, it is important to estimate a return on investment (ROI) and to use it as a reference for BIM profit assessment. According to the experts, showing financial benefits to headmasters will be valuable to maintain their support.

4.5 Conclusion

This paper aimed to reveal, at first, fundamental concepts of BIM through a literature review to ensure a better understanding of this approach and then to analyze the findings of semi-structured interviews that were conducted in order to detect the state of BIM adoption in the province of Quebec, in Canada, and to highlight the strategies and tips that facilitate implementation and use of the BIM process by SMEs. One of the most relevant outcomes of this study was the classification of barriers to BIM deployment. Hence, the most critical barriers were highly linked to human resources: resistance to change, lack of communication and coordination, habit of working at last minute, weak sense of liability, etc. So that, more interest must be given to how to lead, support, motivate and manage human resources. Also, most of the respondents agreed on the crucial need for a new form of contract that fits with BIM as a collaborative approach. Regarding the best strategies to implement BIM in SMEs, analysis and diagnosis of the current business model and processes of the company seems to be a mandatory step to start this transition. Furthermore, to ensure better communication and coordination between stakeholders, meetings, revisions and updates must be frequent in the committees that are involved in this process. As stated by one of the experts, a BIM model is not a gold mine! It brings benefits only if it holds accurate and relevant information which depends on the stakeholder's responsibilities. The next step of this project will be dedicated

to investigating real case studies so as to update the current results and help SMEs make this digital shift.

4.6 References

- C. Newton *et al.*, “Plug n Play : Future Prefab for Smart Green Schools,” 2018.
- G. Zhanglin, G. Si, and L. Jun-e, “Application of BIM technology in prefabricated building,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 100, no. 1, 2017.
- D. Forgues, L. Rivest, and P. Collot, “Étude d’opportunité du BIM pour la préfabrication des bâtiments résidentiels,” 2016.
- C. Egbu and P. Coates, “Building Information Modeling (BIM) implementation and remote construction projects : issues, challenges and critiques,” vol. 17, no. May, pp. 75–92, 2012.
- <http://www.ic.gc.ca/eic/site/061.nsf/fra/accueil>.
- K. Barlish and K. Sullivan, “Automation in Construction How to measure the benefits of BIM — A case study approach,” vol. 24, pp. 149–159, 2012.
- R. Miettinen and S. Paavola, *Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling*, vol. 43. Elsevier B.V., 2014.
- C. M. Herr and T. Fischer, “BIM adoption across the Chinese AEC industries : An extended BIM adoption model,” *J. Comput. Des. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 173–178, 2019.
- B. Succar, *The Five Components of BIM Performance Measurement 1 . Building Information Modelling : a brief introduction*. 2009.
- M. F. Antwi-afari, H. Li, and D. J. Edwards, “Critical success factors for implementing building information modeling (BIM) : a longitudinal review,” *Autom. Constr.* July, 2018.
- C. Eastman, K. Liston, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook*. 2008.
- S. Azhar, M. Hein, and B. Sketo, *Building Information Modeling (BIM): Benefits , Risks and Challenges*, vol. 18, no. 9. 2007.
- E. A. Poirier, “L’Initiative québécoise pour la construction 4.0 : soutenir le virage BIM au Québec,” 2018.
- S. Staub-french *et al.*, “An investigation of ‘Best practices’ through Case studies at Regional, National and International levels,” 2011.
- <https://www.bimthinkspace.com/2009/12/index.html>.

- A. Dakhil, J. Underwood, and M. Al Shawi, “Critical success competencies for the BIM implementation process : UK construction clients,” vol. 24, no. November 2018, pp. 80–94.
- B. Succar, “BIM framework : Essentials BIM Maturity,” 2009.
- J.-F. Lapointe and F. Murat, “Diagnostic et stratégie d’implantation du BIM,” 2017.
- S. Tremblay *et al.*, *Guide D ’ Application Du Bim à la société québécoise des infrastructures*, Version 1. 2016.
- S. Kalinichuk, *Building Information Modeling Comprehensive Overview.*, vol. 6, no. 3. 2015.
- M. Gray, J. Gray, M. Teo, S. Chi, and F. Cheung, “Building Information Modeling : An International survey.”
- M. Ben Hassine, P. Collot, J.-P. Dionne, S. Frenette, and S. Raphaël, *Le BIM : Planifier pour mieux collaborer Discussion sur la planification des projets en mode BIM: Synthèse et recommandations.* 2014.
- A. P. C. Chan *et al.*, “Achieving leanness with BIM-based integrated data management in a built environment project,” 2018.
- D. Holzer, *Best practice BIM.* John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom, 2015.
- A. M. Kouch, K. Illikainen, and S. Perälä, “Key Factors of an Initial BIM Implementation Framework for Small and Key Factors of an Initial BIM Implementation Framework for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs),” 2018, no. August.
- J. Cribbs, *Workflow Management Using Building Information Modeling (BIM) for Prefabrication in a Construction Retrofit Environment*, no. April. 2016.
- B. Barkokebas, Y. Zhang, and C. Ritter, “Building Information Modeling and Simulation integration for modular construction manufacturing performance improvement”, pp. 409–415, 2017.
- N. Lu and T. Korman, “Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Modular Construction : Benefits and Challenges,” *Constr. Res. Congr.*, pp. 1136–1145, 2010.
- M. Luo and D. Chen, “Application of BIM technology in prefabricated building,” pp. 263–270, 2018.
- J. M. Sardroud, M. Mehdizadehtavasani, and A. Khorramabadi, “Barriers Analysis to Effective Implementation of BIM in the Construction Industry,” no. July, 2018.
- U.S. General Services Administration, *GSA Building Information Modeling Guide Series 01 – Overview.* 2007.

<https://www.cdc.org/document/ccdc30/>.

Chapitre 5 : BIM prospects in prefabricated construction and the best practices for its adoption in SMEs

L'article intitulé « BIM prospects in prefabricated construction and the best practices for its adoption in SMEs » est inséré dans cette section du mémoire. Il a été soumis au journal « Construction Management and Economics ». La version soumise est identique à la version présentée dans ce mémoire.

Résumé

La construction préfabriquée a souvent rencontré des problèmes dus à la fragmentation de cette industrie. Le *Building Information Modeling* (BIM) est ainsi apparu comme une solution efficace pour développer ce secteur et fournir un environnement favorable à la réalisation efficace des projets. Cependant, comme la plupart des fabricants québécois sont des petites et moyennes entreprises (PME), l'implantation du BIM nécessite une analyse minutieuse des risques, des stratégies rigoureuses et des meilleures pratiques pour faciliter cette transition. Ainsi, ce travail vise à étudier les applications du BIM en préfabrication à travers une revue de la littérature, des entrevues semi-dirigées et un sondage pour relever 30 barrières critiques ainsi que 31 meilleures pratiques pour tirer profit du BIM. L'une des principales conclusions concerne l'implantation du BIM qui devrait commencer par l'analyse du modèle d'affaires actuel des PME. Pour une meilleure gestion des ressources, il est pertinent d'engager un petit comité BIM dont les principales responsabilités sont la gestion, la coordination et la modélisation. Il est également important de garantir la motivation des parties prenantes et de promouvoir une bonne communication et coordination durant les phases de conception et de production. Les résultats fournissent un aperçu des obstacles auxquels les PME peuvent faire face lors de l'implantation du BIM et identifient les meilleures pratiques qui aident à surmonter ces problèmes dans le secteur de la construction et la préfabrication.

Abstract

Prefabricated construction has long faced many problems due to the industry's fragmentation. Building Information Modeling (BIM) has thus appeared as an efficient solution to upgrade this sector and provide a favorable environment for efficient completion of projects. However, since most manufacturers in Province of Quebec are small and medium-sized enterprises (SMEs), implementing BIM requires deep risk analysis, rigorous strategies and best practices to facilitate this step. Hence, this work aims to study BIM applications in prefabrication through a literature review, semi-structured interviews and an online survey to reveal 30 critical barriers as well as 31 best practices to maximize BIM benefits. One of the significant findings is that the BIM implementation process should start by analyzing the current business model of the SMEs. For better resource management, it is better to appoint a small BIM committee whose main responsibilities are management, coordination and modeling. It is important as well to ensure the stakeholders' motivation and to promote strong communication, coordination and effort in the design and production phases. The findings provide insights into the barriers that may be faced by the SMEs when implementing BIM and highlight the best practices that help overcoming these issues in both construction and prefabrication.

5.1 Introduction

From the outset, prefabrication seems to be an asset to upgrade the construction industry due to its energy and time savings, productivity and quality improvement, environmental protection and fast construction speed (Luo and Chen 2018). Despite its numerous strengths, this sector faces major problems due to the construction industry's fragmentation. In fact, the large number of the stakeholders and the various disciplines complicate communication and coordination efforts, which usually leads to errors in the design and construction phases (Waterhouse et al. 2018). Thus, researchers are actively looking for new processes and technologies to overcome these issues. An approach like Building Information Modeling (BIM) seems to be an efficient solution to facilitate the connection between the main stakeholders and the smooth running of a project. Along the same lines, the construction industry in the Province of Quebec, Canada, is currently modernizing to meet new goals (Poirier et al. 2018). Therefore, the combination of prefabrication and BIM can effectively achieve energy saving, emission reduction, green environmental protection and cost reduction, which plays a positive role in promoting the development of this sector (Le groupe BIM du Québec 2019). However, many studies conclude that BIM is not exploited in prefabrication for various reasons (Luo and Chen 2018; Ghaffarianhoseini et al. 2017). In fact, the vast majority of Canadian manufacturers are SMEs, 99.98% in 2018, which slowed BIM adoption in this field (Canadian Industry Statistics 2018). Moreover, as the Canadian leaders in this field, Quebec SMEs aim to increase their productivity and to export more to the United States, their nearest market, in order to become world leaders in the prefabricated building sector (Société d'habitation Québec 2014)(Cid 2020). Particularly, they aim to export processed products with high added value (residential buildings) instead of commodities (Société d'habitation Québec 2014). Hence, Quebec SMEs are looking for new processes and technologies to increase their productivity, their market share and to become more competitive. Therefore, this work aims to study three main topics: barriers to BIM implementation in the prefabrication industry in the Province of Quebec, Canada, strategies for its proper deployment and best practices for its efficient use.

Few articles have studied BIM adoption in prefabrication, especially in the SMEs, and its potential benefits in multi-housing projects. For example, Li et al. (2020) presented a general BIM implementation framework without specifying BIM adoption levels. Garcia et al. (2016) focused on BIM committee creation and the human factor. Kouch et al. (2018) proposed an initial BIM implementation framework without setting the best practices to better conduct this process. Therefore, this study intends to offer guidelines to properly implement and adopt BIM in construction, specifically for SMEs in prefabrication, and show how to apply it in a multi-housing project. In brief, it will provide a summary of what has been achieved until now and a roadmap to help the SMEs moving toward digitization.

First, a literature review on the subject was conducted to analyze what has been studied so far. Then, semi-structured interviews with BIM experts revealed barriers and best practices for BIM implementation and adoption, specifically in Province of Quebec, Canada. Afterwards, a comparison between the theoretical and practical findings was conducted to create a global framework for BIM implementation. Finally, using outcomes from an online survey, this framework was adapted to Quebec prefabrication SMEs and to the specific case of multi-housing projects.

Some of the significant findings highlighted by this research are the importance of BIM's pre-implementation phase and the crucial role of human resources in attaining BIM benefits. Also, BIM implementation process seems highly related to the company's size, goals and maturity levels. Distinguishing between different levels of BIM implementation (governmental, industrial and team project level), internal and external barriers as well as facilitators and best practices also appeared essential. Finally, the riskiest phases in multi-housing projects, design and production, should exploit the wide array of BIM dimensions, as 4D and 5D applications as defined by (Luo and Chen 2018).

5.2 Literature review

As a new approach, BIM has raised interest from all over the world. Some parties support this trend and seem to be leaders in this field; others still have some doubts toward it and its real potential. This review defines BIM, its history and adoption worldwide as well as its status in the prefabrication sector.

5.2.1 BIM Definition

Many studies stated that one of the major problems faced with BIM is a misunderstanding of this new approach (Kouch et al. 2018). However, to better benefit from a new invention or process, it is important to define it and to better understand it (Le groupe BIM du Québec, 2019). Many relevant articles, dating from 2007 to 2019, offered various definitions. Some definitions are based on the BIM process, others cover BIM tools and some others focus on BIM goals (Garyaev 2018; Barlish and Sullivan 2012). These different views lead some researchers and professionals to see BIM as a process (Azhar et al. 2007), or a new way of working (Lachance et al. 2015), as a 3D model or modeling software (Miettinen and Paavola, 2014), as a management tool (Wang et al. 2011), as a technology (Olawumi and Chan, 2019), as a database to share files and to communicate (Arayici et al. 2012), as an innovation (Murphy, 2014), etc. Hence, BIM can be defined as a set of technologies, processes and strategies, based on a 3D model that must be shared between stakeholders, to better conduct a construction project and to facilitate information sharing about a building along its lifecycle. Properly implemented, BIM leads to many benefits such as better communication and coordination, time and cost savings, productivity and quality improvement, better project management, etc. (Poirier, 2018).

5.2.2 BIM History and Adoption Worldwide

The first concept of BIM dates back to the 1970s and 1980s when the Building Description System (BDS) and Graphical Language for Interactive Design (GLIDE) were introduced to launch computer-aided design (CAD) (Eastman *et al.* 2008). Then, the creation of the ArchiCAD software in 1982 and Revit in 2000 were considered as triggers for the BIM spread in the architecture, engineering and construction (AEC) industry. Given its potential, many countries are searching for efficient strategies to adopt BIM. In 2007, Finland, Denmark, the United Kingdom and the United States were among the first countries to make a step toward this digital shift. In 2012, 70% of contractors in North America used BIM in their projects (Sardroud *et al.* 2018). By 2016, using BIM became mandatory in public projects, in Europe. Thus, BIM attracted more attention from researchers and professionals all over the world. Currently in Canada, 31% of companies use the BIM approach, 29% use integrated processes and 21% still work via traditional methods (BibLus, 2019).

5.2.3 BIM Application in the Prefabrication Sector

As cited previously, prefabrication is still facing technical problems due to the lack of communication and coordination between stakeholders, which reveals many issues such as project delays and customer dissatisfaction (Mostafa *et al.*, 2018). Luo and Chen (2018) demonstrated that using BIM can improve the efficiency of prefabricated building design as well as the production and management of prefabricated components, simulate the construction process, and improve maintenance management. Similarly, He (2019) explained that using BIM in this field leads to many advantages linked to both quality management and the whole prefabrication process (design, production, transportation, etc.). In fact, visualization through 3D models ensures a better understanding of the whole project using accurate information for each component and facilitates update tracking by the stakeholders, which leads to better building management. In the design phase, BIM can increase design quality by displaying the degree of integration between the components, detecting collisions, checking connection precast lines, etc. (Luo and Chen, 2018). During the production stage, this approach provides detailed information about component characteristics, allowing for better coordination between the designer and the manufacturer, especially when component requirements are modified. Thus, it leads to an efficient scheduling of the production process and reduces the construction delay. Moreover, many studies pointed out the significant role of the BIM and RFID combination to properly conduct and monitor the product's transportation, storage and assembly phases (Zhanglin *et al.* 2017). In fact, Radio-Frequency Identification technology (RFID) consists of inserting RFID chips containing specific information (size, material, installation location, etc.) on the side of each prefabricated component (Luo and Chen 2018). This combination allows an accurate traceability of the components' quality and fabricated buildings. Then, the critical need for industry upgrading and the emergence of information technology is a favorable opportunity for BIM adoption in prefabrication. The next section will expand on the research methodology used in the study.

5.3 Research methodology

This study is divided into two main parts: developing a global BIM implementation framework for prefabrication based on both theoretical and practical views and adapting it

specifically for prefabricated SMEs in multi-housing projects. Figure 22 presents a summary of the major steps used to better conduct each part.

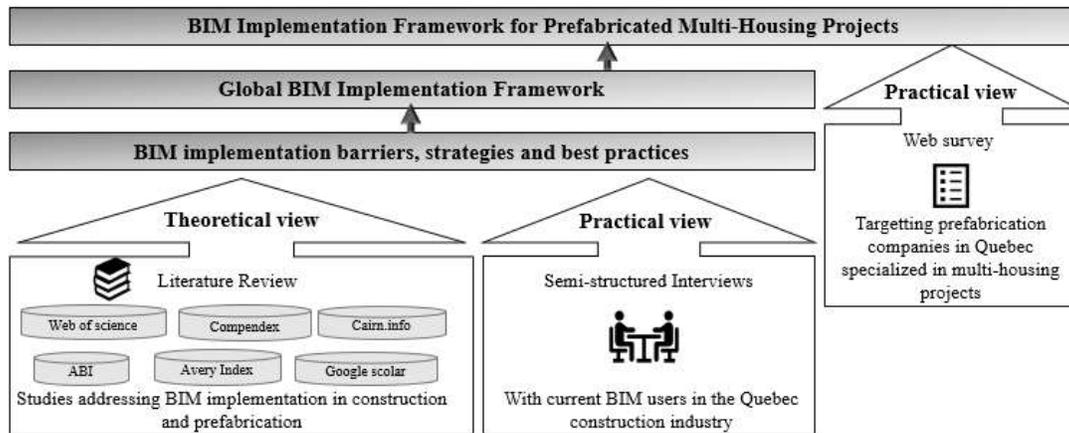


Figure 22: Research methodology.

Regarding the literature review, several databases from various disciplines were used to span across the related studies that have been carried out until now, as in Figure 22, in order to identify the best practices and strategies for BIM implementation and adoption in construction and prefabrication SMEs. The review was done in three steps starting from BIM adoption in construction then in prefabrication and finally in the SMEs. Different key words were used in this research including “BIM”, “construction”, “prefabrication”, “offsite construction”, “implementation”, “barriers”, “benefits”, “best practices”, “SMEs”, etc. 46 articles were selected for future analysis according to the presence of the key words in both the title and the abstract of these papers.

For the semi-structured interviews, BIM leaders in the Province of Quebec were contacted in order to gather relevant information on best practice guidelines for BIM implementation and adoption. The nine experts interviewed were selected according to their experiences with BIM (they have an average of eight years of experience), to their different positions (BIM manager, architect, engineer, researcher, etc.) and to their different work environments (government or private consulting companies, nonprofit organization, etc.). Each one was asked a set of 16 open-ended questions in order to identify BIM benefits and barriers, implementation strategies, the best practices to encourage communication and coordination between stakeholders, responsibilities among the BIM group and its hierarchy, etc. The main

results of the literature review and interview analysis were compared in order to identify differences and similarities, to provide a comprehensive review of current views and to set a global BIM implementation framework.

To adapt the general framework specifically for prefabrication SMEs in multi-housing projects, thirty well-known Quebec manufacturers were sent a web survey asking for their insights on the status of prefabrication, the process to carry out a multi-housing project (milestones, actors, tools, opportunities and challenges, etc.) and their knowledge about BIM benefits and barriers. Thirty-one questions were used with either a 5-point Likert scale, yes/no and multiple-choice format. The data collected were organized into a SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) analysis of the prefabrication field and helped establish the main phases of multi-housing projects. Finally, the proposed BIM implementation framework was adapted for this specific case. The next section will compare the most relevant outcomes of the literature review and the semi-structured interviews and introduce the global BIM implementation framework for prefabrication SMEs.

5.4 BIM Implementation in Construction and Prefabrication

As shown in figure 22, the global BIM implementation framework is based on a comparison of current theoretical views compiled through a literature review with a more practical view obtained through interviews with BIM experts. This section summarizes the findings of this investigation and presents the global BIM implementation framework. Throughout the investigation, three key aspects for BIM implementation were identified: implementation barriers, implementation strategies and the best practices for BIM adoption. Each aspect will therefore be analyzed in the following sections.

5.4.1 BIM Implementation Barriers

In the literature review, most of the authors started by explaining the main barriers for a better understanding of the current challenges when making this digital shift. Some studies made a classification of these limits to highlight the major causes like Ghaffarianhoseini *et al.* (2017) and Tan *et al.* (2019) who determined five key issues: technical, management, environmental, financial and legal barriers. Several studies worldwide agree that technological, financial and legal barriers are common issues but the main difference rises in

the other two, highly related to the human factor. Some called it environmental and management limits, others called it cultural barriers and some others referred to them as organizational issues (Georgiadou, 2019). Regarding this critical topic, Sardroud *et al.* (2018) reached an important conclusion stating that these barriers are highly linked to other factors such as the country's maturity level toward the BIM and its adoption, the company's size, the technological tools available, the government actions (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2017), etc. For example, in the USA, management and legal issues seem to be the most critical while, in the UK, the most common seems to be cultural barriers (Sardroud, Mehdizadehtavasani and Khorramabadi, 2018; Li *et al.*, 2020). Financial issues associated to the initial investment required, technological limits related to BIM tools and cultural and management barriers linked to human resources may probably be faced if the company does not make a rigorous plan before BIM implementation (Ahmad *et al.* 2012; Li *et al.* 2016). Legal barriers may also arise in the form of contracts, intellectual property of the 3D model and the reliability of project information. Regarding the resistance to change that significantly limits BIM adoption, one of the studies stated that it is highly linked to a human doubt of fearing to leave the comfort zone (Le groupe BIM du Québec, 2019). Some other studies focused specifically on the challenges that may be faced within the SMEs (Garcia *et al.* 2016; Hong *et al.* 2017; Kouch *et al.* 2018; Li *et al.* 2020). According to Garcia *et al.* (2016), these limits tend more towards the technological aspect as the interoperability and scalability criteria, lack of design items or the time required to develop the software library. For Hong *et al.* (2017), implementing BIM in SMEs raises more financial and human issues related to high implementation expenses and to human resistance to change. Finally, it is important to mention that few studies have identified BIM barriers in the prefabrication industry. Mostafa *et al.* (2018) indicated that this industry suffers from the lack of change in business practices to support BIM, the high investment to implement it, the legal concerns with fabrication and multiple designs as well as collaboration and information sharing challenges.

As mentioned in the methodology section, nine interviews with BIM experts in Province of Quebec were conducted. Analysis of the collected data revealed that the BIM barriers could be grouped into five main classes: legal, technological, financial, human and organizational. According to manufacturers who have not yet implemented BIM, technological, financial and legal barriers are the most prominent while BIM experts, who have mastered the BIM

implementation process, claimed that human and organizational issues were the most critical ones. In fact, this process relies on human interactions and its success depends on their willingness and liability. Legal barriers refer to any contractual or regulation limits such as the intellectual property of the 3D model that is co-created by several parties (architect, structural/MEP engineer, etc.) and must be shared among all participants to achieve BIM goals. According to most of the respondents, this must be addressed in a contractual document to avoid problems. In the same category, the classical form of contract usually raises some issues, as it does not include clauses about sharing responsibilities, risks, information, etc. For technological barriers, they are mainly linked to interoperability problems that prevent file exchanges between stakeholders and complicate their collaboration. In fact, many interviewees indicated that undefined goals, weak planning and lack of information before implementing a new software lead to inappropriate use or incompatible tools. Furthermore, some actors such as MEP engineers and manufacturers complained about the effort required for creating their own library of objects in the new software. For financial barriers, respondents mentioned the high investment required to cover license-purchasing fees, the cost of hardware and software upgrading and staff training expenses. About human barriers, the most prominent one is resistance to change, as a big effort is required for trainings, learning new tools, mastering new methods and connecting with others. Likewise, most of the companies suffer from skills shortage, maturity gaps and lack of communication between stakeholders that often lead to several problems even if BIM tools are well implemented. In addition, the BIM process requires liability and collaboration among all the actors, which is not the case with the conventional method. Another critical issue is about misunderstanding the BIM concept and its baselines, which often creates a gap between the actors. Regarding organizational issues, lack of coordination, management, standardization and alignment between BIM and current processes as well as a dearth of control and updates of the information flow, cause serious problems when using BIM in such projects. It is relevant to indicate that the interviews focused more on the internal barriers, which need to be identified for SMEs to be able to provide a suitable environment to make this shift. Then, it seems relevant to highlight the differences between external and internal barriers as well as facilitators and best practices. External barriers arise through client reluctance, the lack of government support, the gap between stakeholders, etc. Thus,

government support, client demand and external experts are the main facilitators that highly affect BIM adoption status in the industry. Internal barriers consist of the company's limits. Hence, the internal work habits of the company are the best practices that may lead to the successful use of BIM.

Table 5 summarizes BIM implementation barriers from both theoretical and practical views. It details the barriers that may occur while implementing BIM in construction, and specifically in prefabrication. Based on the interviews, the barriers were grouped into five main classes: human (HB), technological (TB), financial (FB), organizational (OB), and legal (LB) barriers.

Table 5: BIM barriers in conventional construction and prefabrication sectors.

Class	Barriers	Interviews		Literature	
		Const	Prefab.	Const	Prefab.
HB	B1: Resistance to change	√	√	√	√
	B2: Misunderstanding of BIM process	√	√	√	√
	B3: Confusion between BIM dimensions	√	√		
	B4: Communication and collaboration shortage	√	√	√	√
	B5: More effort and time for planning	√	√	√	√
	B6: Waive professional liability	√	√	√	√
	B7: Use of 2D plan instead of 3D model	√			
	B8: BIM is riskier than beneficial	√	√	√	√
	B9: Employee's control and monitoring	√	√		
TB	B10: Need to learn new tools	√		√	√
	B11: Wide variety of tools	√	√	√	√
	B12: Interoperability problems	√	√	√	√
	B13: Need for technological updating	√	√	√	√
	B14: Gap between the actors' maturity level	√	√	√	√
	B15: Need to specify the prefabricated objects and MEP details in the software database	√	√	√	√

Class	Barriers	Interviews		Literature	
		Const	Prefab.	Const	Prefab.
	B16: Need for computer translation from the BIM model to production machines		√		
FB	B17: High investment cost	√	√	√	√
OB	B18: Information overload	√	√		
	B19: Lack of an action plan	√	√	√	√
	B20: Wrong diagnosis of the company's needs	√	√		
	B21: Wrong assessment of the maturity level	√	√		
	B22: Using BIM tools without culture change	√	√		
	B23: Training without practice	√	√		
	B24: Lack of BIM alignment with existing business processes	√	√	√	√
	B25: Improper risk assessment	√	√	√	√
	B26: Lack of process standardization	√	√	√	√
LB	B27: The classic form of contracts	√	√	√	√
	B28: Intellectual property of the 3D model	√	√	√	√
	B29: Poor definition of BIM protocol	√	√	√	√
	B30: Confidential data security	√	√	√	√

This table reveals the widespread awareness about BIM barriers and the interviews demonstrated that BIM adoption is progressing in the Province of Quebec, Canada. In fact, the experts interviewed agreed about the great impact of technological, financial and legal barriers but emphasized human and organizational factors due to their significant role in this process. The difference between the literature and interview findings concerns these two factors and details about the prefabrication industry. This could be because the experts interviewed are closer to actual construction projects as well as the fact that prefabrication in Province of Quebec is new to this digital shift. The manufacturers thus do not fully master BIM approach, its tools, its requirements and the milestones of its implementation process.

Moreover, an important issue related to BIM tools was detected in the prefabrication field, as the current softwares do not offer detailed specifications about the prefabricated elements. In addition, to exploit BIM during the production phase, another computer program must be created to translate between the BIM model and the production machines.

5.4.2 Strategies for BIM Implementation

Most of the studies in the literature review sought to reveal the suitable process for BIM implementation. Some papers only examined the BIM implementation process within the project (Luo and Chen, 2018), others focused on the whole industry in different countries (Smith, 2014), and other ones outlined several implementation levels spanning from big to small scales (Tan *et al.* 2019). The different frameworks found present several similarities such as outlining the importance of implementing the right software and providing continuous training to the BIM team as well as checking if the new process is well integrated into the current one. However, the main difference between the frameworks concerns the first step in the process. In fact, some highlighted the need to analyze and examine the actual business processes first (Aravici *et al.* 2012; Ahmad *et al.* 2012; Kouch *et al.* 2018) while others directly start by introducing the tools and competencies required to make this shift (Garyaev 2018). For example, Arayici *et al.* (2012) presented four major steps to implement BIM in a company: diagnosis, action planning, taking action and evaluation. Whereas, Kouch *et al.* (2018) presented this process with three main steps: understanding, planning and piloting. Along the same lines, Ahmad *et al.* (2012) also used three phases: pre-implementation, implementation and post-implementation. While Garyaev (2018) considered only the two latter phases. The first phase in Kouch *et al.* (2018) is about understanding BIM and how it should be used. However, the first phase in Arayici *et al.* (2012) and Ahmad *et al.* (2012), diagnosis and pre-implementation, is a review and analysis of current business practices to identify the potential efficiency benefits with BIM. This difference could be explained as Kouch *et al.* (2018) focused on the SMEs that still have confusions about BIM concept and how to exploit it. In all four examples, the planning or implementation phase concerns introducing new technologies and staff. Then, the taking action/evaluation, piloting or post-implementation phase refers to applying BIM in a pilot project and to identify the benefits and risks that were faced in order to learn from them.

Despite considerable interest for BIM deployment in the AEC industry, there is little focus on the prefabrication sector, specifically in the SMEs. Tan *et al.* (2019) introduced three levels to facilitate BIM adoption in this sector: 1- socio-level, 2- organization level and 3- project level. In level 1, they identified the needs to strengthen research on BIM applied to prefabricated construction; to prepare and publish BIM standards and guidelines by government actors; for software vendors to develop BIM tools specifically for this industry; and to present best prefabrication practices by industry practitioners. For level 2, they pointed out the need for manufacturers to establish efficient workflow and cooperation mechanisms as well as the necessity for its members to acquire BIM knowledge and skills. In level 3, the main actors have to optimize technical and managerial solutions to achieve cost and time savings and other BIM benefits.

The interviews with BIM experts also addressed the milestones of the BIM implementation process in prefabrication and that could be used in construction as well. Interview analysis lead to three main steps: pre-implementation, implementation and post-implementation phases. All respondents underlined the need for a pre-implementation phase for the success of the whole process although it is often overlooked by professionals. During this phase, it is important to analyze the status and the current business processes using different methods and tools (survey, SWOT analysis, etc.) to assess the company's means (human resources, software and hardware, standards, etc.). The company manager can then identify the eventual improvements to these processes. In fact, large companies often use consulting services and external support to accomplish this phase, which is not always possible for SMEs. Then, underlining the importance of this step encourages SMEs to appoint an internal group to analyze their situation.

Afterward, the implementation phase is dedicated to planning and conducting the implementation process. Hence, the company manager should prepare a strategic road map for this shift using three main documents: BIM implementation plan (BIP), BIM execution plan (BEP) and BIM management plan (BMP). One of the precious tips provided through the interviews is proceeding step-by-step with a clear BIM implementation plan (BIP). The best strategy is to start by practicing 3D modeling, then upgrading to BIM 4D and so on. The BIP should include the main information about this shift: reasons and goals, main actors, tools, steps, schedule, investment, trainings, BIM committee and their missions, benefits to

reach and duration to reach each advantage, etc. Once prepared, the next step will be to install hardware and software, to create the BIM committee who will manage, coordinate and lead the whole process and to align BIM with the current business processes. It is also pertinent to highlight the need to properly choose the right tools for the prefabrication needs and to focus on the required applications. Regarding the BIM committee, the SMEs can appoint a small motivated group from their staff to make this shift and to be the company's internal experts. Then, specific training should be planned for them. Well trained, these experts should impart knowledge to the rest of the staff and support them throughout this shift. Successfully integrating the BIM process and tools is about taking advantage of both the company's strength and BIM benefits. A kick-off meeting is crucial at this stage, to present the main goals, to clarify the new concept, to introduce the new actors, to explain the rules, to identify the risks and to point out the potential benefits of this process.

The last phase, which is post-implementation, includes applying BIM in a pilot project in order to integrate it with the firm's practices. It is better to choose a project with the usual scale carried out by the company as it will serve for future reference. The most efficient documents to handle this step are the BEP and BMP, as mentioned before. The BEP will be used when applying BIM in a project (Lu *et al.* 2013). It should then include the goals of this project, the benefits to reach through BIM use, the main actors, their roles, the deliverables, the risks, etc. The BMP helps properly manage human resources, information flows, time, risks, etc. For benchmarking purposes, at the end of the project, the company manager should quantify the benefits, evaluate the experience and monitor the progress in using BIM. This step is based on the Key Performance Indicators (KPIs) that must be defined by BIM experts using cost, time or quality indexes. Using this process, SMEs will be able to make this shift without needing consulting services, as they will be able to manage their own resources.

When comparing the theoretical and practical views on BIM implementation strategies, it seems relevant to indicate that the interviews specifically targeted BIM implementation within the company and the team project while the literature covers different levels (governmental, industrial, organizational,...) (Neto, 2016). In fact, BIM leads to concurrent revolutionary changes across several scales within the organizational hierarchy ranging from individuals and groups to industries and the whole market (Kassem and Succar, 2017). So, some articles focused on BIM adoption within the project team, others studied its deployment

in the company and other ones analyzed its adoption in the whole industry. It is important to mention that BIM implementation within the project depends on the actors involved in the project and their maturity levels when using BIM. In fact, BIM is based on collaborative work and communication between all the players who have to better understand BIM baselines even if they do not reach the same level of maturity. Among the 46 references used in this study, ten articles focused essentially on the BIM implementation process at the company level (Ahmad *et al.* 2012; Alaghbandrad and Forgues 2013; Arayici *et al.* 2012; Garcia, Mollaoglu, and Syal 2016; Garyaev 2018; Gu and London 2010; Hong *et al.* 2019; Kouch *et al.* 2018; Neto 2016; Smith 2014). Table 6 lists the milestones for this process and the number of interviews and articles that mentioned each step.

Table 6: BIM implementation process at the organization level.

BIM implementation strategies	Interviews	Literature
First stage: Pre-implementation		
1/ Analysis of the current business processes	8/9	6/10
2/ Detect the eventual improvement	9/9	6/10
Second stage: Implementation		
3/ Set a strategic plan for BIM deployment	6/9	9/10
4/ Install the required tools and create BIM committee	6/9	10/10
5/ Align BIM process with the current business processes	6/9	4/10
Third stage: Post-implementation		
6/ Apply BIM in a pilot project	6/9	7/10
7/ Set the KPIs for benchmarking	5/9	1/10

Based on this table, the literature gave more interest to setting the strategic plan, the required tools and staff to ease BIM implementation. However, most of the BIM experts interviewed emphasized the need to start by analyzing the current business processes of the company and to integrate BIM within the company's processes, as it has a crucial impact on the whole process. Moreover, although assessing the company's progress using BIM is deemed important, there was little mention of the KPIs that should be used to evaluate the firm's progress in the literature. These discrepancies are linked to the specific case of this study

which concerns prefabrication SMEs. Being in the first stage, they need to analyze their existing means before deciding to invest in BIM adoption.

5.4.3 Best Practices for BIM Adoption

It is also significant to compare the different methods used by the authors to study the best practices for BIM adoption. Some identified them according to each barrier category (financial, legal, etc.) (Tan *et al.* 2019). Others presented them according to each actor involved in the process (Smith, 2014). Other articles introduced them using the three levels of BIM adoption (1-government, 2-organization, 3-project) (Eastman *et al.* 2008; Lu and Korman 2010; Ahmed *et al.* 2017). According to different studies, the first level that concerns the government and industries has an important role to play in promoting BIM adoption to different organizations (Tan *et al.* 2019; Mostafa *et al.* 2018). They should provide a suitable environment for this digital shift, mandate the use of BIM for their public projects, strive for full collaborative BIM based on open standards for information exchange and support the major industry players. In fact, according to international experience, when governments have required BIM for their procurements, other public bodies and the private industry were motivated to follow suit (Mostafa *et al.*, 2018). Moreover, Smith (2014) confirmed that one of the best practices is to provide universal free and easy access to online BIM building product data and libraries with international consistency. For the second level, relating to deployment in companies and organizations, most of the studies highlighted the critical role of each company, organizational subdivision, and group to facilitate this phase as they must encourage the different members to learn about this new approach through BIM education, training and research (Smith, 2014). According to Georgiadou (2019), one of the best practices is to develop an international evidence base of lessons learned in BIM to be used in training and educational courses. Another tip lies in promoting the client's involvement during the design phase. Furthermore, there is an emerging need for a new form of contract that fits with BIM requirements and concepts as well as regulation and standardization to create a common language between the stakeholders (Sardroud, Mehdizadehtavasani and Khorramabadi, 2018). Regarding organizational and project levels, Hong *et al.* (2019) revealed that BIM adoption in SMEs requires a rigorous analysis of the eventual risks that may occur during BIM applications and a better management of these risks according to a

strategic plan. At this stage, knowledge support is highly recommended in order to ensure a good understanding of the new process (Hong *et al.* 2019). Similarly, Garyaev (2018) outlined the real need to apply a proactive approach to risk management when using BIM in any project. Another study indicated the importance of promoting internal feedback practices and trust within the company in order to provide better communication and coordination among the staff. Hence, formal weekly meetings are highly recommended as an opportunity for the employees to share and discuss their recent experiences. Likewise, one of the best advices for SMEs is to ensure high performance work practices for retaining and motivating BIM experts by endowing them with adequate autonomy and task flexibility, imposing goal sharing among them and publicly recognizing noteworthy performance whenever applicable (Garcia *et al.* 2016). About the third level, when implementing BIM in a project, external coaching or consulting services may be an efficient way to initiate the BIM adoption process, especially if there is a lack of internal BIM expertise. In addition, it is important to start by fixing short-term goals that are quickly and easily evaluated rather than deal with long-term goals. For BIM projects, Barlish and Sullivan (2012) were the only ones to study the KPIs that must be used to better quantify BIM profits and convince the stakeholders about BIM potential benefits.

As for the interviews, a list of key actions claimed by all the experts was established. These actions are summarized in 5 main practices that will be called the 5C : clarify, communicate, collaborate, create, and compute. Clarify consists of highlighting the BIM approach, its requirements, the main actors, their responsibilities, the risks, the main goals to achieve, etc. Communicate consists of sharing the right information, skills, positive experience, updates, corrections, etc. Collaborate refers to sharing models, responsibilities and risks in order to achieve mutual benefits and progress. Create is about creating new files and parameters required for BIM adoption including the BEP, the BMP, the library of objects based on the manufacturer's production, standard files, codes to make the right updates based on the BIM model's information, etc. Finally, compute refers to calculating different indexes based on KPIs to assess the company's progress and to learn from their experience.

Thus, a comparison between the literature and the interviews highlighted the best practices proposed and synthesized the most efficient ones. Again, among the 46 references analyzed,

15 papers specifically addressed the best practices to overcome BIM implementation barriers, favor its adoption and maximize the benefits (Barlish and Sullivan 2012; Forgues et al. 2014; Forgues et al. 2016; Garcia et al. 2016; Garyaev 2018; Georgiadou 2019; Hong et al. 2019; Liao and Teo 2017; Mostafa and Leite 2018; Murphy 2014; Olawumi and Chan 2019; Sardroud et al. 2018; Smith 2014; Smith and Tardif 2009; Tan et al. 2019). Table 7 summarizes the best practices deducted from the interviews analysis and their occurrences during the interviews and in the 15 related articles. The best practices have been associated to the same barrier classes as Table 5.

Table 7: Best practices for BIM adoption using the interviews and literature outcomes.

Barrier class	Best practices	Interviews	Lit.
HB	BP1: Clarify BIM concepts and baselines to the entire group	6/9	10/15
	BP2: Hire/Appoint a small team of experts for the mission	5/9	2/15
	BP3: Appoint a special group to check the updates and to review the models and information after each step	5/9	5/15
	BP4: Provide more effort at an early stage of the project	6/9	6/15
	BP5: Get informed about the market and technologies news	2/9	0/15
	BP6: Support the team during this shift	9/9	13/15
	BP7: Make sure each actor is well informed after each step	6/9	4/15
	BP8: BIM implementation requires continuous effort	8/9	1/15
	BP9: Encourage communication and collaboration	9/9	13/15
	BP10: Share positive experiences and knowledge	5/9	10/15
	BP11: Ensure the internal experts motivation	5/9	1/15
	BP12: Start BIM experience with most motivated members	2/9	4/15
TB	BP13: Analyze company technical needs before purchasing software	8/9	8/15
	BP14: Check the interoperability factor	6/9	11/15
	BP15: Create a product database and a library	6/9	7/15
FB	BP16: Regular analysis of the financial status	2/9	11/15
	BP17: Perform an ROI study and respect it	2/9	8/15
	BP18: Compute profit (cost, time, quality)	5/9	13/15

Barr ier class	Best practices	Inter- views	Lit.
OB	BP19: Efficiently use 3D models instead of 2D plans	6/9	8/15
	BP20: Review the reliability of the model information	9/9	10/15
	BP21: Integrate BIM into current processes	6/9	8/15
	BP22: Simplify and facilitate the process (go step-by-step)	2/9	5/15
	BP23: Standardize BIM processes and practices	5/9	12/15
	BP24: Pay more attention to the planning and design phases	6/9	3/15
	BP25: Apply BIM even if not required by the client	2/9	4/15
	BP26: Update and review the process after each step	9/9	4/15
	BP27: Provide manuals as references	3/9	7/15
	BP28: Make logistics simulations when needed	2/9	5/15
	BP29: Use KPIs for BIM assessment	5/9	9/15
	BP30: Document each step	3/9	6/15
LB	BP31: Adapt contract to highlight BIM requirements	5/9	9/15

As shown in the table, both the literature and the interviewees agree on the importance of supporting the project team during this shift via trainings, education, etc. (BP6), and encouraging information sharing, collaboration and communication during the meetings (BP9). In the interviews though, the best practices mentioned by almost all of the participants were to analyze technical needs before purchasing the software (BP13), to provide continuous effort for BIM implementation (BP8), to review the reliability of the model information (BP20) and to update and review the process after each step (BP26). In general, they seemed more preoccupied by the technological and human aspect and how to manage it. As for the literature, many studies highlighted the emerging need to standardize BIM processes and practices (BP23) and to compute the profit after each project achievement (BP18). Table 7 clearly shows that some best practices are more common in theory than in practice and vice versa. This could be due to the specific context of the current study and the interviews while the cited articles studied diverse cases and aspects (national/industrial scale, prefabricated/traditional construction, etc.). The literature aims to make general conclusions and guidance that could be adopted by any type of company in any project as well as the whole community. However, the interviews focused more on the BIM adoption status in

Province of Quebec, especially in prefabrication. Hence, most of the guidance target the SMEs that may face issues in making this digital shift and managing the changes affecting their business processes and the group workflows.

5.5 Global BIM Implementation Framework in Prefabrication

Using the literature and interview results, a global implementation framework was created based on the three main levels of BIM adoption, as shown in figure 23: government level, industry level and project level. Regarding the government scale, three axes were considered: educational, legal and financial. The educational axis concerns the integration of BIM concepts in educational programs as well as open trainings to support young professionals and students and provide a favorable environment for this digital shift to overcome many issues such as skills shortage and misunderstanding of this approach that are more present in SMEs. For the legal axis, there is an emerging need for new forms of contracts and standard to promote a common language within the stakeholders and to clarify the 3D model's intellectual property and benefit/risk sharing. The financial axis mostly concerns the SMEs as they represent a large part of the prefabrication industry, in the Province of Quebec, Canada. Governments could help these enterprises move toward digitization by supporting them financially and promoting the use of BIM in public projects.

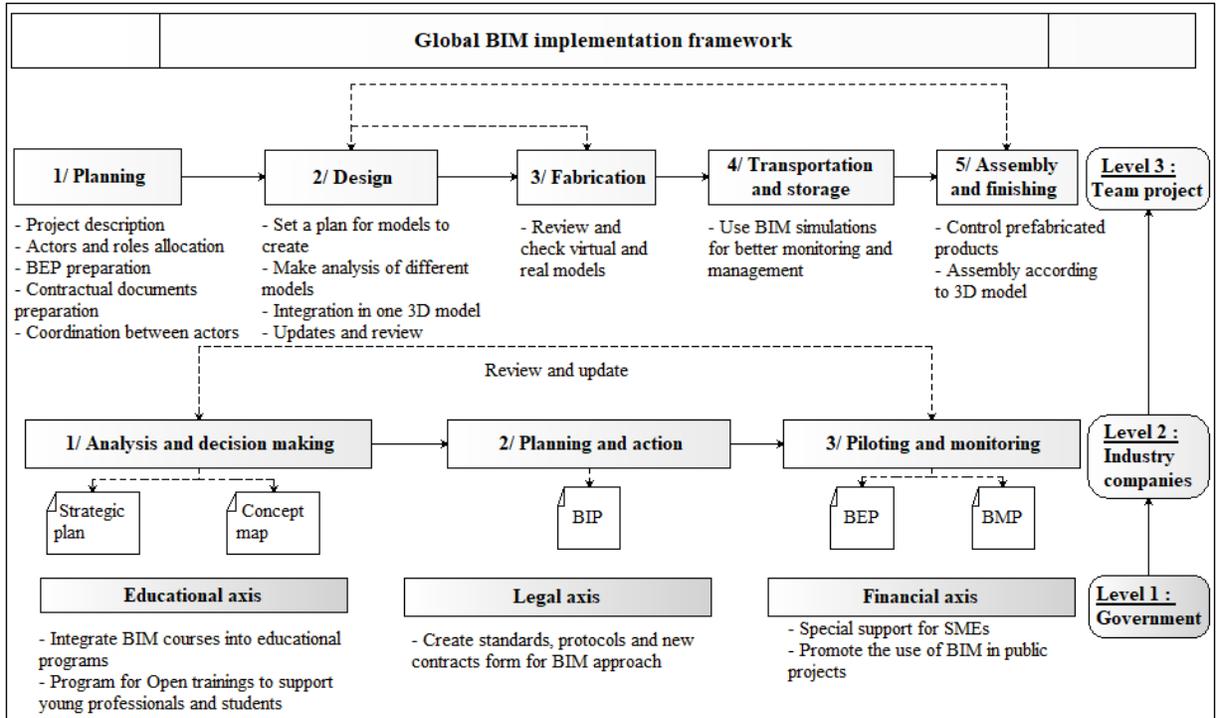


Figure 23: Global BIM implementation framework.

The second level, commonly called industrial or company level, is related to the companies and organizations in this sector. As presented previously, implementing BIM at this level is based on three major steps. The first one is the pre-implementation phase, which is to analyze the company's current business process and to make decisions about BIM deployment. The second step concerns the implementation process, from planning to acting. Finally, the post-implementation phase is about piloting and monitoring BIM application in a specific project. Levels 1 and 2 could be applied in both prefabricated and conventional construction. However, level 3, regarding the team project level, is based on the main phases of prefabrication projects: planning, design, fabrication, transportation-storage, and assembly-finishing. During the planning phase, it seems relevant to establish a rigorous description of the project, the actors and their roles, the schedule, etc. and to prepare the BEP in order to clarify the goals to achieve while using BIM in this project. At this stage, it is highly important to prepare appropriate contractual documents. Communication and coordination between the stakeholders at the early stage remains the key success in this process. At the design phase, detailed plans of the models to create should be made so as to easily check and review them. Once revised, these models could be integrated in the final 3D model that will be shared between the stakeholders and called the federated model. Throughout fabrication,

the team project should efficiently use the federated model in order to control component quality and conformity with the design. Before transportation and storage, BIM simulation tools are highly recommended to predict the different scenarios that may occur and to complete this phase successfully. Finally, the 3D model and other technologies such as RFID should be used on-site to control and monitor the assembly process.

5.6 BIM Implementation Framework for Prefabricated Multi-Housing Projects

Finally, the general framework presented in Figure 23 was adapted specifically to prefabricated multi-housing projects. First, an online survey was sent to 30 Quebec SMEs specialized in this sector to obtain insights on the state of prefabrication and the process of carrying out multi-housing projects. Fully completed surveys were received from 9 of these companies. Most of the participants work as company managers (55.6%) while the rest hold various positions such as sales manager, headmaster, etc. Moreover, 77.8% of the respondents have more than 10 years of experience. When asked about the types of projects carried out by their SME, five participants chose single-family housing and multi-housing projects. In fact, multi-housing projects are in high demand due to modernization and increased urbanization worldwide, as claimed by 66.7% of the participants, and often require collaboration between the SMEs. The survey responses were used to develop a SWOT analysis of the prefabrication industry's current state. Each factor was ranked according to its frequency in the answers. For instance, these companies' main strengths are swift delivery (31.8%), quality (27.3%), customizable models (22.7%) and competitive pricing (18.2%). Their major weaknesses are highly related to the productivity rate (40.0%), their business processes (25.0%), a limited product variety (20.0%) and their supply chain (15.0%). These weaknesses are mainly due to labor shortage (66.7%), lack of production capacity and lack of liquidity (22.2%). Other critical threats mentioned (11.1%) were seasonality, coordination with architects, competition with other sectors, technical software, etc. On the other hand, many opportunities such as 3D modeling, customizable software and automated production were stated. Then, the survey asked about the main phases of a multi-housing project, the riskiest ones and the ones that require more time as well as the actors involved. A multi-housing project usually has six phases: planning, design, estimating and ordering materials,

factory production, on-site delivery and installation and assembly. The results analysis revealed that design and production phases are both the most time consuming and the riskiest, causing most of the issues occurring during the project. This could be because several actors are involved in these phases, which require regular communication, review and updates.

Regarding the major problems faced by the professionals in a multi-housing project, technical problems related to the software used (43.7%), logistics problems (31.3%), changes and short delays as well as business processes (25.0%) and lack of follow-up by the subcontractor were the main problems mentioned by the respondents. Such issues may be caused by a lack of communication and coordination between the different parties, seasonality, lack of follow up by some parties, etc. Thus, BIM seems to be a suitable solution for this situation. The survey also revealed many positive aspects as all respondents are familiar with BIM, 33.3% have already started its implementation, 66.7% are planning to implement it and 55.6% are already using Revit software for the design phase. As for project management, most of them use an internal software and 77.8% use standard files. According to the participants, the potential benefits of BIM are reducing errors and clash detection (18.8%), enhancing quality (17.5%) and promoting communication and coordination (16.2%). Figure 24 illustrates the link between the critical problems faced by the SMEs in multi-housing projects and the main BIM benefits that could help in facing these issues.

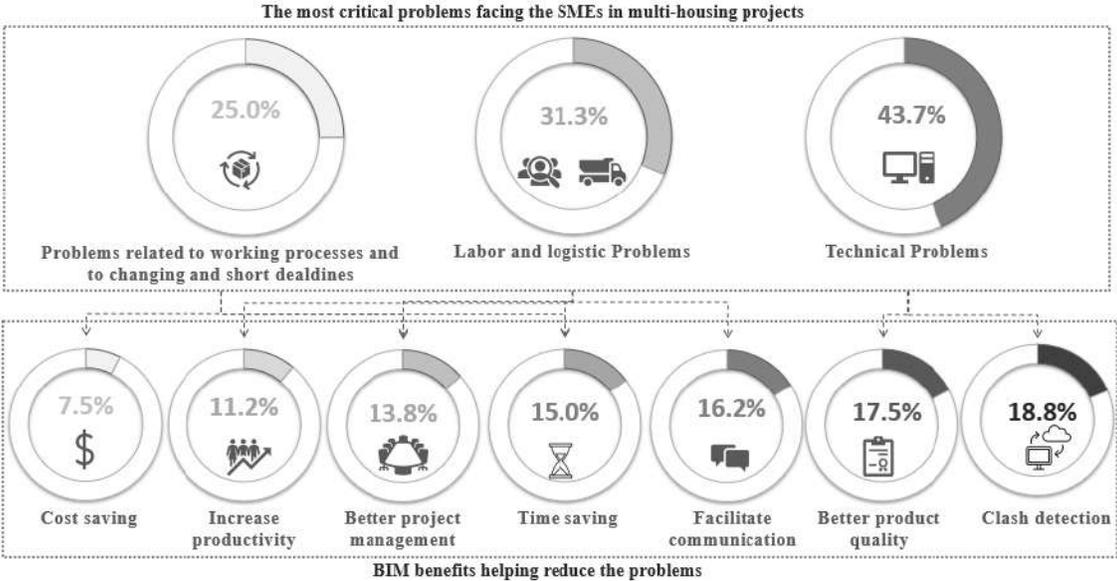


Figure 24: Critical problems in multi-housing projects and BIM benefits.

Regarding the critical barriers, in contrast to the interviews and the literature, technological barriers seem the most critical (32%), but they were followed by human issues (26%). The financial, legal and organizational barriers obtained the lowest ranking (14%). This could be because BIM software requires training, effort and time to be mastered leading then to human reluctance. It also requires effort and time to develop its libraries of objects according to the manufacturer's needs. Based on the previous results, a list of actions was prepared to maximize BIM benefits in these projects. Hence, there is an emerging need to revise the prefabrication SMEs' current business models before BIM adoption. When using BIM, SMEs will need to set and respect a deadline for the multi-housing projects, choose the right tools and develop them according to their needs as well as determine productivity, cost and time KPIs to assess the eventual benefits of this process. Figure 25 introduces a specific framework for the BIM implementation process at the project and team level (third level of Figure 2) for multi-housing projects. The actors involved now align with BIM requirements and include the BIM committee. BIM 4D (scheduling) and 5D (quantity take-offs, cost estimation, order checking) seem to be very important to upgrade and facilitate the project execution. Thus, used properly, BIM could be very efficient to overcome the current limits in this sector.

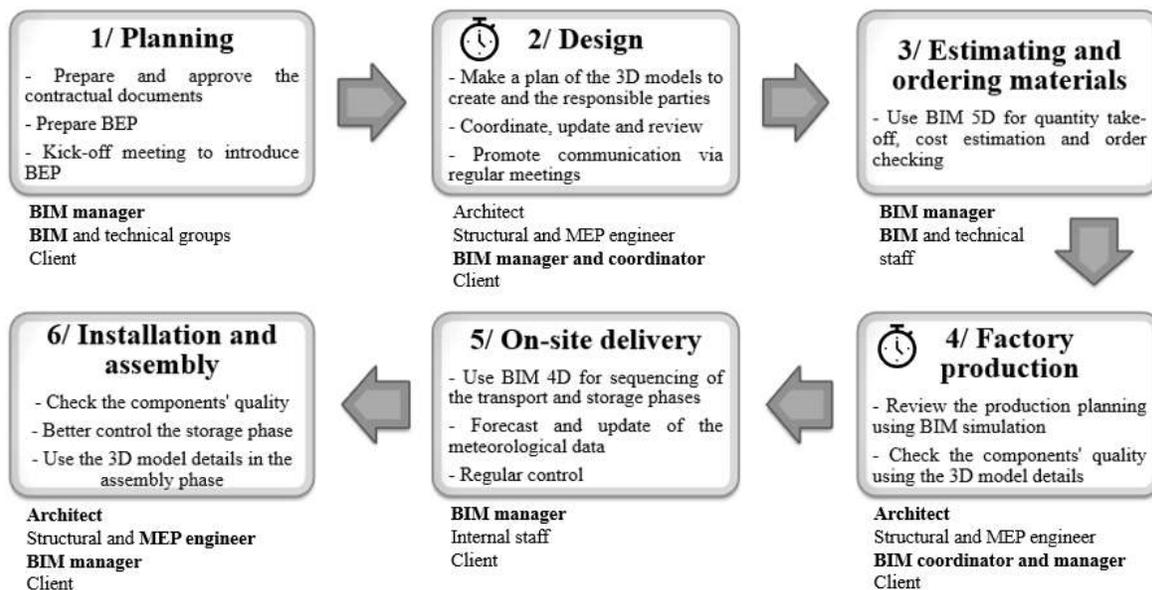


Figure 25 : BIM implementation in a prefabricated multi-housing project.

In sum, prefabrication companies in Quebec are almost SMEs (98.1% are small enterprises counting less than 99 employees (Institut de la statistique du Québec, 2014)) so they need

specific recommendations to implement BIM according to their goals (Figure 26). These SMEs are facing a big competition that leads them to collaborate in order to increase their market share and to export more finished products to the intern and extern markets (Société d’habitation Québec, 2014)(Cid, 2020). To increase their productivity, there was an emergent need to review their current business processes. Thus, BIM seems to fit with their needs to help them ensuring a better collaboration with their partners, increasing their exportations and enhancing their innovative aspect (Poirier *et al.*, 2018). However, the lack of qualified labor, advanced technical tools and financial resources in these SMEs (Robichaud *et al.*, 2015) raise many barriers that must be well clarified and managed before moving toward digitization (Figure 26). According to both the literature and the interviews, the human and organizational issues were the most prominent whilst the survey revealed the technological aspect as the most critical. This difference is related to the background of the participants in each part. While the interviewers were BIM experts who managed BIM implementation process in several companies, the survey targets the prefabricated companies who have not yet fully mastered and implemented BIM process. These SMEs face difficulties to choose the tools to implement and the right competencies to assign for this mission. So, it is important to analyze BIM barriers before taking decisions as it could negatively affect the company’s progress if it is not well defined and managed.

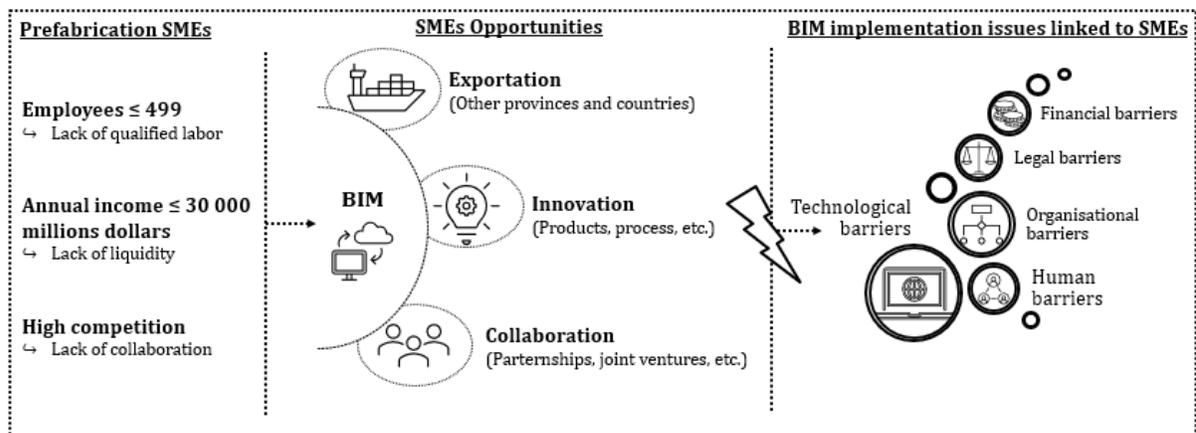


Figure 26 : SMEs particularities leading to BIM opportunities and limits.

Using the literature review, the interviews and the survey, BIM implementation milestones and a set of best practices was dedicated to these enterprises to better conduct this process. To summarize, the practices will be classified according to five aspects as shown in Figure

27. Regarding the technological aspects, these SMEs should start by analyzing its existing tools to be able to make the right decision about the software to install according to its specific needs as deduced from the interviews. Once installed, it has better to use these tools in their projects for more practice and to be able to master it and reach its benefits. Then, the human factor that plays a great role in this process, according to the literature and BIM experts, must be well managed. The firm could recruit extern BIM competencies or assign intern qualified persons for this mission. BIM expert will be engaged to plan and ensure the training of the rest of BIM committee. Well trained, supported and motivated, this committee will be responsible of integrating BIM into the company's processes. For the organizational aspect, short- and long-term goals should be defined from the start and presented to the whole staff. Afterward, reviewing and updating these details after each step remains essential. As an important factor, the SMEs should not neglect the ROI study and the risk analysis to better manage their financial means. Finally, for the legal aspect, they should define the new clauses that introduce BIM baselines and applications and clarify each clause for the actors. These clauses must be well documented and revised to avoid any conflicts along the process.

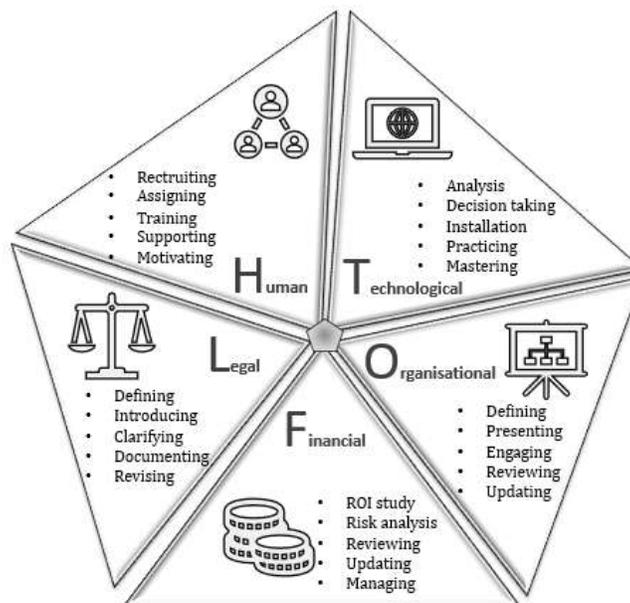


Figure 27 : Best practices for BIM adoption within the SMEs.

5.7 Conclusion

This study aimed to reveal the need to adopt BIM in prefabrication to help upgrade this industry, as there was a lack of research in this area. Since most of the companies in this field

are SMEs, making this shift raises many challenges. The main goals of this study were to identify these barriers and the strategies and best practices to overcome them. To reach these objectives, a literature review, semi-structured interviews with experienced BIM users and a web-survey targeting prefabrication were conducted and analyzed. In fact, if prefabrication SMEs do not make this shift, they risk facing a decrease in profit and a serious gap compared to other companies. BIM is seen as a powerful process which could remedy this situation. Thus, it is very important to analyze existing literature and what is currently applied in this field, in order to propose efficient solutions that can be easily adopted by companies moving toward digitization. This study highlighted 30 barriers to BIM implementation. One of the significant findings is the interviewees' awareness of human and organizational factors, unlike previous ideology considering only financial and technological issues. As for the BIM implementation strategies, they were grouped into three distinct phases: pre-implementation, implantation and post-implementation. The BIM experts interviewed also identified 31 best practices to overcome the barriers and maximize BIM adoption within the company. All of these elements were synthesized into a global BIM implementation framework clarifying the different levels that must be considered when studying the BIM implementation process (governmental, industrial and team project levels) as well as the milestones of each level. Finally, this study used a web-survey targeting prefabrication companies to adapt the framework specifically to prefabricated multi-housing projects. Throughout this research, all parties agreed on the importance of maintaining good communication and coordination between stakeholders as it is the main key to successful BIM adoption and maximizing its benefits.

Further research should address the efficiency of the tools and processes that may guarantee a better connection between the actors. How architects and engineers can adapt their practices to facilitate BIM adoption through the prefabricated construction industry should be investigated. It would also be relevant to study the technical and economic impacts of BIM implementation as well as the changes that will affect the 3D model along the project phases and how it will be shared.

5.8 Acknowledgments

The authors are grateful to the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada for their financial support through its IRC and CRD programs (IRCPJ 461745-18 and RDCPJ 514294-17) as well as the industrial partners of the NSERC industrial chair on eco-responsible wood construction (CIRCERB), the industrial partners of the industrialized construction initiative (ICI) and the Créneau Accord Bois Chaudière-Appalaches (BOCA). Also, they would like to thank the participants in the semi-structured interviews and online survey given their positive impact on the progress of this work.

5.9 Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

5.10 References

- Ahmad, A. M., Demian, P., and Price, A.D.F. (2012). "BIM Implementation Plans: A Comparative Analysis." Proc. 28th Annual ARCOM Conference, Association of Researchers in Construction Management, Edinburgh, UK, 33-42.
- Ahmed, L. A., Kawalek, J. P., and Kassem, M. (2017). "A Comprehensive Identification and Categorisation of Drivers, Factors, and Determinants for BIM Adoption: A Systematic Literature Review." *Computing in Civil Engineering*, 220–227.
- Alaghbandrad, A. and Forgues, D. (2013). "Development of a Model to Select BIM Implementation Strategy with Respect to the BIM Maturity Level of an Organization." 4th Construction Specialty Conference, Montreal, QC, Canada, CON-173-1-10.
- Arayici, Y., Egbu, C., and Coates, P. (2012). "Building Information Modelling (BIM) Implementation and Remote Construction Projects: Issues, Challenges, and Critiques." *J. of Information Tech. in Const.*, 17, 75–92.
- Azhar, S., Hein, M., and Sketo, B. (2008). *Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges*. Proc., 44th Associated Schools of Constr. National Conf., Auburn, AL.

- Barlish, K. and Sullivan, K. (2012). “How to Measure the Benefits of BIM - A Case Study Approach.” *Automation in Construction*, 24, 149–159.
- BibLus. (2019). “BIM Canada, les experts du secteur sont prêts mais les institutions pas encore.” (in French).
- Canadian Industry Statistics (2018). Available at. http://www.ic.gc.ca/eic/site/061.nsf/eng/h_03114.html.
- Canadian Industry Statistics. (2019). “Residential Building Construction - 2361.” Available at. <https://www.ic.gc.ca/app/scr/app/cis/summary-sommaire/2361>.
- Cid, Allan. 2020. Market Study Report Juin 2020. Unpublished.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. John Wiley & Sons Inc.
- Forgues, D., Rivest, L., and Collot, P. (2016). “Étude d’opportunité du BIM pour la préfabrication des bâtiments résidentiels.” (in French) Unpublished.
- Forgues, D., Staub-French, S., Tahrani, S, and Poirier, E. (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, Québec, Canada (in French).
- Garcia, A. J., Mollaoglu, S., and Syal, M. (2016). *Adoption of Building Information Modeling in Small Size Home-Building-Businesses*. Michigan State University, USA.
- Garyaev, N. (2018). “Analysis of Risks Arising in the Implementation of BIM - Technologies in Construction Organizations.” *Proc. of IPICSE-2018. MATEC Web of Conferences*, 251.
- Georgiadou, M. (2019). “An overview of benefits and challenges of building information modelling (BIM) adoption in UK residential projects.” *Construction Innovation* 19, 298–320.
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O., and Raahemifar, K. (2017). “Building Information Modelling (BIM) Uptake: Clear Benefits, Understanding Its Implementation, Risks and Challenges.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75, 1046–1053.

- Gu, N. and London, K.. (2010). "Understanding and Facilitating BIM Adoption in the AEC Industry." *Automation in Construction*, 19, 988-999.
- Hong, Y., Hammad, A. W. A., Sepasgozar, S., and Akbarnezhad, A. (2019). "BIM Adoption Model for Small and Medium Construction Organisations in Australia." *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management* 26(2), 154-183.
- Institut de la statistique du Québec. (2014). *Science, technologie et innovation : Le Financement et La Croissance Des Petites et Moyennes Entreprises Au Québec En 2014* (in French).
- Kassem, M., and Succar, B. (2017). "Macro BIM Adoption: Comparative Market Analysis." *Automation in Construction* 81, 286–299.
- Kouch, A. M., Illikainen, K., and Perälä, S. (2018). "Key Factors of an Initial BIM Implementation Framework for Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs)." *Proc. 35th ISARC-2018*.
- Le groupe BIM du Québec. (2019). *BIM Trucs et Astuces [BIM Tips and Tricks]*. Contech bâtiment, QC, Canada (in French).
- Li, H., Wang, Y., Yan, H., and Deng, Y. (2016). "Barriers of BIM Application in China- Preliminary Research." *ICCREM 2016, ASCE*, 37-41.
- Li, P., Zheng, S., Si, H., and Xu, K. (2020). "Critical Challenges for BIM Adoption in Small and Medium-Sized Enterprises: Evidence from China." *Sustainable Development*, 2019.
- Liao, L. and Teo, E. A. L. (2017). "Critical Success Factors for enhancing the Building Information Modelling implementation in building projects in Singapore." *J.Civil Engrg. Mng.*
- Lu, N. and Korman, T. (2010). "Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Modular Construction: Benefits and Challenges." *Proc. Construction Research Congress, Banff, AB, Canada*, 1136–1145.
- Lu, W., Zhang, D., and Rowlinson, S. (2013). "BIM Collaboration: A Conceptual Model And Its Characteristics." *Proc. 29th Assoc. Researchers in Constr. Mng. Ann. Conf.*, 25-34.
- Luo, M. and Chen, D. (2018). "Application of BIM Technology in Prefabricated Building." *Proc. ICCREM 2018, ACSE*, 263-270.

- Miettinen, R., and Paavola, S. (2014). "Beyond BIM utopia: approaches to the development and implementation of Building Information Modeling." *Automation in Construction*, 43.
- Mostafa, K., and Leite, F. (2018). "Evolution of BIM Adoption and Implementation by the Construction Industry over the Past Decade: A Replication Study." *Proc. Construction Research Congress*, 180-189.
- Mostafa, S., Kim, K., Tam, V., and Rahnamayiezekavat, P. (2018). "Exploring the Status, Benefits, Barriers and Opportunities of Using BIM for Advancing Prefabrication Practice." *Int. J. Const. Mngt* 20(2), 146–156.
- Murphy, M. (2014). "Implementing Innovation: A Stakeholder Competency-Based Approach for BIM." *Construction Innovation* 14(4), 433–452.
- Neto, J. (2016). "Approach For BIM Implementation: A Vision For The Building Industry." *Proc. 24th Ann. Conf. Int. Group for Lean Construction*, 143-152.
- Olawumi, T., and Chan, D. (2019). "Critical success factors for implementing Building Information Modeling and sustainability practices in construction projects: A Delphi Survey." *Sustainable Development* 27(4), 587–602.
- Poirier, E. A. (2018). "L'Initiative québécoise pour la construction 4.0 : soutenir le virage BIM au Québec." *Groupe BIM du Québec, Québec, Canada (in French)*
- Poirier, E. A., Frenette, S., Carignan, V., Paris, H., Forgues, D., & Charland, M.-É. B. (2018). "Accroître la performance de la filière québécoise de la construction par le virage numérique." submitted to *Minitère de l'économie, de la science et de l'innovation*, submitted to *la Société québécoise des infrastructures (in French)*.
- Robichaud, François, François Julien, Myriam Drouin, and Nsimba Kinuani. (2015). *Compétitivité et Opportunités Pour l'industrie Québécoise Des bâTiments Préfabriqués (in French)*.
- Sardroud, J., Mehdizadehtavasani, M., and Khorramabadi, A. (2018). "Barriers Analysis to Effective Implementation of BIM in the Construction Industry." *Proc. 35th Int. Symp. Automation and Robotics in Constr, Berlin, Germany*.
- Smith, D., and Tardif, M. (2009). *Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Manager*. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey.

- Smith, P. (2014). "BIM Implementation-Global strategies." *Procedia Engineering* 85, 482-492.
- Société d'habitation Québec. (2014). "VISION 2030 : Filière Exportatrice de Systèmes de Construction Verte." (in French) available at : <http://www.epinex.ca/MediaHandler.ashx?MediaId=846d2f54-6f6b-4877-867c-50cf7bd5ecbc>
- Tan, T., Chen, K., Xue, F., and Lu, W. (2019). "Barriers to Building Information Modeling (BIM) Implementation in China's Prefabricated Construction: An Interpretive Structural Modeling (ISM) Approach." *J. of Cleaner Production*, 219, 949–959.
- Zhanglin, G., Si, G, and Jun-e, L. (2017). "Application of BIM Technology in Prefabricated Building." in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 100.

Conclusion

L'industrie de la construction (conventionnelle et industrialisée) est encore aujourd'hui caractérisée par la fragmentation, l'instabilité et la ramification des canaux d'informations entre ses parties prenantes (London, 2008). Cela a souvent induit à l'inefficacité des processus d'affaires, à un faible taux de rentabilité et à une baisse de la productivité de ce domaine. Face à cette situation, la construction 4.0 vient mettre en place des nouveaux principes basés sur la numérisation de l'environnement bâti et l'intégration des processus et des acteurs. C'est dans ce contexte qu'intervient le BIM en tant qu'approche répondant bien aux principes de cette révolution industrielle. Les PME de la préfabrication peuvent toutefois hésiter entre vouloir faire la transition vers le BIM pour demeurer compétitives et augmenter leur productivité ou rester conservatrices et réticentes pour éviter le risque et l'impact que peut représenter cette décision sur leurs processus actuels et leurs ressources humaines et financières. Cette étude avait donc pour but de démystifier le BIM, de relever son intérêt dans le secteur de la construction, particulièrement en préfabrication, et de proposer un cadre d'implantation incluant une piste de stratégies et de bonnes pratiques pour faciliter son adoption dans les PME québécoises de préfabrication. Les principaux objectifs poursuivis étaient d'explicitier l'approche BIM et ses fondements, d'identifier les barrières qui freinent son implantation, de proposer les étapes à suivre et les recommandations pour une meilleure adoption du BIM et de mettre sur pied un cadre d'implantation adapté à la situation actuelle de l'industrie québécoise de préfabrication.

Afin d'atteindre le but visé, une revue de la littérature a été réalisée sur l'approche BIM et l'état de son adoption dans la construction et la préfabrication. La revue a permis de bien cerner les facteurs qui affectent le processus d'implantation du BIM, notamment dans les PME, les freins potentiels qui ralentissent ce processus, les facilitateurs qui favorisent ce virage numérique ainsi que les bonnes pratiques qui aident les PME à surmonter les risques qui peuvent survenir lors de cette transition. Ensuite, un ensemble de neuf entrevues semi-dirigées ont été effectuées avec des experts BIM au Québec qui ont une large expérience dans le processus d'implantation du BIM. Cette phase a permis d'identifier les particularités de l'expérience québécoise avec le BIM et les différents éléments affectant son adoption dans cette province. Puis, un sondage a été lancé auprès des entreprises québécoises de

préfabrication, afin de cerner les points forts de ce secteur, les défis et les risques qui s'y présentent, les opportunités qui peuvent améliorer cette industrie ainsi que le point de vue de ces professionnels envers l'implantation du BIM. Finalement, il a été possible d'adapter le cadre d'implantation déjà proposé à un contexte spécifique (la construction industrialisée au Québec), de formuler une synthèse des résultats obtenus et de proposer des recommandations pour le futur.

Étant un concept assez large, la première phase de l'étude a été consacrée à la démystification du BIM. Une définition du BIM et de son lexique, ses dimensions, ses applications, les outils actuellement existants dans le marché, les standards créés et ceux en cours d'élaboration, ont alors pu être mis en lumière. Cette partie a permis de souligner les applications BIM dédiés à la préfabrication, notamment le BIM 4D et le BIM 5D et les outils appropriés selon l'usage (Revit pour la modélisation 3D des structures peu complexes, Navisworks pour la détection des conflits entre les modèles des différentes disciplines et pour assurer le suivi et la communication entre les parties prenantes, etc.).

Un intérêt a ensuite été accordé à la phase en amont et en aval de l'implantation du BIM dans une firme. Ainsi, l'analyse qualitative des données collectées des entrevues a permis d'identifier les barrières qui retardent cette phase dans le contexte québécois et les étapes à suivre pour réussir le processus d'implantation ainsi que les recommandations menant à la bonne exploitation du potentiel du BIM. Afin d'avoir une vision globale sur ce qui est fait au Québec et ailleurs dans le monde dans ce domaine, une comparaison entre les résultats de la littérature et ceux des entrevues a été réalisée. Cette comparaison a permis de dégager plusieurs conclusions.

La première conclusion concerne la présence de deux types des barrières du BIM : les barrières internes liées à la situation de la firme (ses ressources humaines, ses moyens financiers, ses outils, les standards utilisés, son niveau de maturité, etc.) et les barrières externes liées au niveau d'implication du gouvernement et du client. Selon ces deux volets théoriques et pratiques, les barrières les plus communes étaient les barrières financières, technologiques et légales. Néanmoins, une différence a été notée au niveau de la barrière humaine qui a eu différents appellations dans la littérature (barrière culturelle, environnementale, humaine). Cette dernière était la plus critique vu le rôle que joue l'être

humain dans ce processus. Par contre, le sondage a relevé la barrière technologique comme cruciale étant donné la complexité à identifier l'outil le plus approprié aux besoins et l'interaction entre ces logiciels et les machines de fabrication qui n'est pas encore totalement au point.

La deuxième conclusion est liée au processus d'implantation du BIM dans ces firmes. En effet, plusieurs grandes entreprises québécoises ont eu recours à des services de consultation pour bien mener cette phase, ce qui n'est pas toujours possible dans le cas de PME. Le cadre qui a été proposé dans ce projet vise à guider et à supporter les entreprises dans cette transition pour qu'elles soient capables de bien mener et gérer cette phase sans recours à des services externes. En effet, la phase fondamentale à la réussite de ce processus d'implantation réside dans l'analyse de l'état actuel de l'entreprise en termes de processus d'affaires, de ressources humaines, de moyens financiers, de logiciels, etc. Cette étape permet de cartographier cette situation et de détecter les éventuelles améliorations dans le but de répondre aux besoins spécifiques de la firme. Ensuite, les outils les plus compatibles avec les objectifs de cette firme et les compétences de ses employés peuvent être utilisés. Concernant le comité BIM qui est le moteur de ce processus, une proposition a été faite au profit des PME qui consiste à former ou à recruter deux personnes bien formées en BIM et qui maîtrisent ces outils. Ces dernières seront chargées de transférer les connaissances et les compétences au sein du groupe interne de l'entreprise. Ils auront un rôle d'encadrement et de leadership. Cette solution réduit les risques financiers liés à la formation et au recrutement d'un grand nombre d'experts BIM.

La dernière conclusion porte sur les meilleures pratiques qui sont les nouvelles habitudes et activités à adopter par le personnel de la firme dans le but d'avancer dans le processus BIM et d'atteindre ses différents bénéfices. Suite aux analyses effectuées, il a été possible de préciser une liste de bonnes pratiques dédiées à la fois aux PME de la construction et de la préfabrication. Cette liste commence par assurer une bonne compréhension des nouveaux concepts, des nouvelles responsabilités, des nouveaux acteurs, des nouveaux standards et des nouveaux outils à utiliser auprès de toutes les parties prenantes. Ensuite, une nouvelle forme de contrat ou de nouvelles clauses doivent s'ajouter pour définir les nouveaux rôles, le partage d'information, la propriété intellectuelle de la maquette (les personnes ayant le droit

à la modifier, celles ayant le droit juste à la consulter et les concepteurs de base qui l'ont créée). En ce qui concerne la préfabrication, il s'avère important d'adapter l'outil technique aux besoins de l'entreprise en y ajoutant la bibliothèque spécifique aux éléments préfabriqués et un programme permettant la traduction entre les logiciels et les machines. Puis, l'encadrement et le suivi continu de la progression du personnel à l'interne sont essentiels. La communication et la coordination de façon régulière et continue à travers des réunions et les rencontres de réseautage et de formation ne manque pas d'importance pour assurer un bon lien entre les parties prenantes du secteur. Finalement, même si peu abordés, les indicateurs de performance qui sont basés sur plusieurs paramètres tels que le coût, le temps et la qualité, sont cruciaux dans la procédure d'évaluation de l'efficacité de l'entreprise et du profit réalisé avec la méthode du BIM.

La présente étude a permis de tirer des conclusions intéressantes quant à l'implantation du BIM dans les PME de la préfabrication, au Québec, à travers des analyses qualitatives des données issues des entrevues, du sondage et de la littérature. Cependant, l'étude s'est limitée à l'aspect managérial qui touche plus les processus d'affaires et la façon de changer les anciennes pratiques pour surmonter les défis auxquels les manufacturiers font face. De plus, l'étude a été dédiée aux PME de la préfabrication au Québec, qui sont encore à la phase de compréhension de cette nouvelle méthode et à la planification pour cette transition. Les conclusions ainsi tirées pourraient varier selon le type d'entreprise (petite, moyenne ou grande) et son niveau de maturité envers l'implantation du BIM ainsi que le type de projet dans lequel il sera utilisé.

Dans le futur, il serait intéressant d'évaluer le processus d'implantation du BIM dans les entreprises en termes de problèmes rencontrés, de solutions proposées et de gains tirés. Par la suite, dans les prochaines recherches, il serait aussi pertinent de se concentrer sur l'aspect technico-économique que l'implantation du BIM peut avoir sur les différentes phases de réalisation d'un projet de construction ainsi que sur le flux d'informations transféré entre les parties prenantes et les changements qui affectent la maquette le long de ce processus. Cet axe concerne plus l'aspect technique en vue d'aider les manufacturiers, en particulier les PME, à maîtriser les outils BIM pour pouvoir réaliser des projets d'envergure et s'ouvrir aux grands marchés.

Bibliographie

5. <http://www.ic.gc.ca/eic/site/061.nsf/fra/accueil> (no date).

Ahmad, A. M., Demian, P. and Price, A. D. F. (2012) 'BIM implementation plans: A comparative analysis', *Association of Researchers in Construction Management, ARCOM 2012 - Proceedings of the 28th Annual Conference*, 1(September), pp. 33–42.

Ahmed, A. L., Kawalek, J. P. and Kassem, M. (2017) 'A Comprehensive Identification and Categorisation of Drivers, Factors , and Determinants for BIM Adoption: A Systematic Literature Review', *Computing in Civil Engineering*, pp. 220–227.

Alaghbandrad, A. and Forgues, D. (2013) 'Development of a model to select BIM implementation strategy with respect to the BIM maturity level of an organization
Development of a model to select BIM implementation strategy with respect to the BIM maturity level of an organization', (January).

Antwi-afari, M. F., Li, H. and Edwards, D. J. (2018) 'Critical success factors for implementing building information modeling (BIM) : a longitudinal review', *Automation in construction*, (July). doi: 10.1016/j.autcon.2018.03.010.

Aram, S. and Eastman, C. (2013) 'INTEGRATION OF PLM SOLUTIONS AND BIM SYSTEMS FOR THE AEC INDUSTRY
INTEGRATION OF PLM SOLUTIONS AND BIM SYSTEMS FOR THE AEC INDUSTRY'.

Arayici, Y., Egbu, C. and Coates, P. (2012) 'Building information modelling (BIM) implementation and remote construction projects : issues , challenges , and critiques', *Journal of Information Technology in Construction*, 17(May 2016), pp. 75–92.

Atkinson, L., Amoako-Attah, J. and B-Jahromi, A. (2014) 'Government's influence on the implementation of BIM', *Computing in civil and building engineering*, (2014), pp. 520–527.

Atlas Conseil International (2018) 'Rupture de la chaîne d'approvisionnement', p. 39.
Available at: www.atlas-mag.net.

Azambuja, M. *et al.* (2012) ‘Leveraging Building Information Models to Support Supply Chain Decisions in Construction Projects’, in *Construction Research Congress 2012*, pp. 747–756.

Azhar, S., Hein, M. and Sketo, B. (2007) *Building Information Modeling (BIM): Benefits , Risks and Challenges, BIM-benefit measurement*. doi: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.

Barkokebas, B., Zhang, Y. and Ritter, C. (2017) ‘Building Information Modeling and Simulation integration for modular construction manufacturing performance improvement’, (c), pp. 409–415.

Barlish, K. and Sullivan, K. (2012) ‘How to measure the benefits of BIM — A case study approach’, *Automation in Construction*, 24, pp. 149–159. doi: 10.1016/j.autcon.2012.02.008.

Benoît, G. (2009) *Recherche sociale : de la problématique à la collecte des données*. 5e édition. Québec: Presse de l’Université du Québec.

Bibeau, N. G. *et al.* (2020) *Prefabrication and Modular Construction 2020*.

BibLus (2019) ‘BIM Canada, les experts du secteur sont prêts mais les institutions pas encore’, *BibLus*, p. 1. Available at: [http://biblus.accasoftware.com/fr/?s=BIM+Canada%2C+les+experts+du+secteur+sont+prêt+s+mais+les+institutions+pas+encore](http://biblus.accasoftware.com/fr/?s=BIM+Canada%2C+les+experts+du+secteur+sont+pr%C3%AAAt+s+mais+les+institutions+pas+encore).

Boton, C. *et al.* (2018) ‘Comparing PLM and BIM from the Product Structure Standpoint To cite this version : HAL Id : hal-01699720 Comparing PLM and BIM from the Product Structure Standpoint’.

Boton, C. and Forgues, D. (2017) ‘CONSTRUCTION INDUSTRIALIZATION AND IT INTEGRATION : HOW TALL WOOD BUILDINGS CAN SHOW THE RIGHT PATH TOWARDS CONSTRUCTION 4 . 0’, in *Modular and Offsite Construction Summit & the 2nd International Symposium on Industrialized Construction Technology 2017*, pp. 201–207.

Buildoffsite Review 2014-2015 (2015).

Canadian Industry Statistics (2018) *Productivité - Statistiques relatives à l'industrie canadienne*. Available at: <https://www.ic.gc.ca/app/scr/app/cis/productivity-productivite/23>.

Canadian Industry Statistics (2019) *Entreprises - Statistiques relatives à l'industrie canadienne*. Available at: <https://www.ic.gc.ca/app/scr/app/cis/businesses-entreprises/236>.

Canadian Industry Statistics (2020) *Investissement en construction de bâtiments*. Available at: <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/200421/dq200421b-fra.htm?indid=19277-1&indgeo=0>.

CanBIM (2015) *CanBIM Awards 2015 - Best In BIM - Nominees*. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=aeXQrtxDKiQ&feature=emb_title.

Chan, A. P. C. *et al.* (2018) 'Achieving leanness with BIM-based integrated data management in a built environment project'.

Cid, A. (2020) *Market Study Report juin 2020*.

Cribbs, J. (2016) *Workflow Management Using Building Information Modeling (BIM) for Prefabrication in a Construction Retrofit Environment*.

Dakhil, A., Underwood, J. and Shawi, M. Al (2019) 'Critical success competencies for the BIM implementation process : UK construction clients', 24(November 2018), pp. 80–94.

Dallasega, P. (2018) 'Industry 4 . 0 Fostering Construction Supply Chain Management : Lessons Learned From Engineer-to-Order Suppliers', *IEEE ENGINEERING MANAGEMENT REVIEW*, 46(3), pp. 49–55. doi: 10.1109/EMR.2018.2861389.

Eastman, C., Liston, K. and Sacks, R. (2008) *BIM Handbook Paul Teicholz Rafael Sacks*. doi: 2007029306.

Egbu, C. and Coates, P. (2012) 'Building Information Modeling (BIM) implementation and remote construction projects : issues, challenges and critiques', 17(May), pp. 75–92.

Forgues, D. *et al.* (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*.

Forgues, D., Rivest, L. and Collot, P. (2016) 'Étude d'opportunité du BIM pour la préfabrication des bâtiments résidentiels'.

Garcia, A. J., Mollaoglu, S. and Syal, M. (2016) *Adoption of Building Information Modeling in Small Size Home-Building-Businesses*.

Garyaev, N. (2018) 'Analysis of risks arising in the implementation of BIM - technologies in construction organizations', in *IPICSE-2018*.

Georgiadou, M. C. (2019) 'An overview of benefits and challenges of building information modelling (BIM) adoption in UK residential projects', *Construction innovation*, 19, pp. 298–320. doi: 10.1108/CI-04-2017-0030.

Ghaffarianhoseini, A. *et al.* (2017) 'Building Information Modelling (BIM) uptake : Clear benefits , understanding its implementation , risks and challenges', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(December 2016), pp. 1046–1053. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.083.

Giraud, J.-P. (2019) *Méthode QQQQCP : intérêt et exemples de mise en application*. Available at: <https://www.les-grandes-techniques-de-vente.fr/methode-qqoqcp-exemple-definition/>.

Gobeil, P. (2007) *Vers une préfabrication « architecturée » de l'habitation individuelle : Enjeux, critères et moyens de la qualité architecturale pour une préfabrication résidentielle*.

Gray, M. *et al.* (no date) 'Building Information Modeling : An International survey'.

Le groupe BIM du Québec (2019) *BIM Trucs et astuces*. Contech bâtiment.

Gu, N. and London, K. (2010) *Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry*, *Automation in Construction*. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.autcon.2010.09.002.

Ben Hassine, M. *et al.* (2014) *Le BIM : Planifier pour mieux collaborer Discussion sur la planification des projets en mode BIM: Synthèse et recommandations.*

Herr, C. M. and Fischer, T. (2019) 'BIM adoption across the Chinese AEC industries : An extended BIM adoption model', *Journal of Computational Design and Engineering*. Society for Computational Design and Engineering, 6(2), pp. 173–178. doi: 10.1016/j.jcde.2018.06.001.

Holzer, D. (2015) *Best practice BIM*. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom.

Hong, Y. *et al.* (2017) 'BIM adoption model for small and medium construction organisations in Australia', *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(1), pp. 91–107. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/09699981111098711>
Downloaded.

Hossan, M. A. and Nadeem, A. (2019) 'TOWARDS DIGITIZING THE CONSTRUCTION INDUSTRY : STATE OF THE ART OF CONSTRUCTION 4.0', in *Interdependence between Structural Engineering and Construction Management*, p. 7. doi: 10.14455/ISEC.res.2019.184.

<https://www.bimthinkspace.com/2009/12/index.html> (no date). Available at:
<https://www.bimthinkspace.com/2009/12/index.html>.

<https://www.ccdc.org/document/ccdc30/> (no date). Available at:
<https://www.ccdc.org/document/ccdc30/>.

Institut de la statistique du Québec (2014) *SCIENCE , TECHNOLOGIE ET INNOVATION : Le financement et la croissance des petites et moyennes entreprises au Québec en 2014.*

Jerez-Grisel, R. (2018) *Le format COBie et l'importance de l'information d'un objet pour la prescription*. Available at: <https://www.bimandco.com/fr/blog/4-le-format-cobie-et-limportance-de-linformation-dun-objet-pour-la-prescription>.

Jupp, J. and Nepal, M. (2016) 'BIM and PLM : Comparing and Learning from Changes to Professional Practice Across Sectors To cite this version : HAL Id : hal-01386474 BIM and

PLM : Comparing and learning from changes’.

Jupp, J. and Singh, V. (2016) ‘Similar Concepts , Distinct Solutions , Common Problems : Learning from PLM and BIM Deployment To cite this version : HAL Id : hal-01386473 Similar Concepts , Distinct Solutions , Common Problems ’:

Kalinichuk, S. (2015) *Building Information Modeling Comprehensive Overview.*, *Journal of Systems Integration (1804-2724)*. doi: 10.20470/jsi.v6i3.235.

Kassem, M. and Succar, B. (2017) ‘Macro BIM adoption: Comparative market analysis’, *Automation in Construction*, 81(April), pp. 286–299. doi: 10.1016/j.autcon.2017.04.005.

Kouch, A. M., Illikainen, K. and Perälä, S. (2018) ‘Key Factors of an Initial BIM Implementation Framework for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs)’, in. doi: 10.22260/ISARC2018/0126.

Kunz, A. (2011) ‘Global project delivery systems using BIM’, *ASCE 2011*, pp. 472–479.

Lachance, G., Forgues, D. and Tahrani, S. (2015) *Implantation d’une stratégie BIM : Revue et synthèse des expériences de la Norvège.*

Lapointe, J.-F. and Murat, F. (2017) *Diagnostic et stratégie d’implantation du BIM.*

Li, C. Z. *et al.* (2018) ‘An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction’, *Automation in Construction*, 89(July 2017), pp. 146–161. doi: 10.1016/j.autcon.2018.01.001.

Li, H. *et al.* (2016) ‘Barriers of BIM application in China-Preliminary research’, in *ICCREM 2016*, pp. 37–41.

Li, P. *et al.* (2020) ‘Critical Challenges for BIM Adoption in Small and Medium-Sized Enterprises : Evidence from China’, *Sustainable development*, 2019, p. 15.

Liao, L. and Teo, E. A. L. (2017) ‘CRITICAL SUCCESS FACTORS FOR ENHANCING THE BUILDING INFORMATION MODELLING IMPLEMENTATION IN BUILDING PROJECTS IN SINGAPORE’, *Journal of civil engineering and management*, 23(March 2018), pp. 1029–1044.

- Liu, K. and Zhang, S. (2018) 'Assessment of Sustainable Development Capacity of Prefabricated Residential Building Supply Chain', in *ICCREM 2018*, pp. 45–58.
- London, K. (2008) *Construction Supply Chain Economics*. Taylor & Francis.
- Lu, H. *et al.* (2019) 'Construction Supply Chain Integration: Past and Future Hao', in *ICCREM 2019*, pp. 498–508.
- Lu, N. and Korman, T. (2010) 'Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Modular Construction : Benefits and Challenges', *Construction research congress*, pp. 1136–1145.
- Lu, W., Zhang, D. and Rowlinson, S. (2013) 'BIM COLLABORATION : A CONCEPTUAL MODEL AND ITS CHARACTERISTICS', in *Association of Researchers in Construction Management, ARCOM 2013- Proceedings of the 29th Annual Conference*, pp. 25–34.
- Luo, M. and Chen, D. (2018) 'Application of BIM technology in prefabricated building', in *International Conference on Construction and Real Estate Management (ICCREM) 2018*, pp. 263–270.
- Maneval, V. (2018) *Jean Nouvel Chantier et Musée National du Qatar (2019)*. Available at: <http://bubblemania.fr/chantier-2012-2018-musee-national-du-qatar-a-doha-2017-architecte-jean-nouvel/>.
- Mapston, M. and Westbrook, C. (2010) 'Prefabricated building units and modern methods of construction (MMC)', *Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings*, (Mmc), pp. 427–454. doi: 10.1533/9781845699277.2.427.
- Miettinen, R. and Paavola, S. (2014) *Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling, Automation in Construction*. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.autcon.2014.03.009.
- Mostafa, K. and Leite, F. (2018) 'Evolution of BIM Adoption and Implementation by the Construction Industry over the Past Decade: A Replication Study', in *Construction Research Congress 2018 180*, pp. 180–189.

Mostafa, S. *et al.* (2018) ‘Exploring the status, benefits, barriers and opportunities of using BIM for advancing prefabrication practice’, *International Journal of Construction Management*. Taylor & Francis, 20(2), pp. 146–156. doi: 10.1080/15623599.2018.1484555.

Murphy, M. E. (2014) ‘Implementing innovation : a stakeholder competency-based approach for BIM’, *Construction innovation*, 14(4), pp. 433–452. doi: 10.1108/CI-01-2014-0011.

Naden, C. (2019) *BIM : UNE NOUVELLE NORME INTERNATIONALE POUR FACILITER LES PROJETS DE CONSTRUCTION*. Available at: <https://www.iso.org/fr/news/ref2364.html>.

Neto, J. de P. B. (2016) ‘APPROACH FOR BIM IMPLEMENTATION : A VISION FOR THE BUILDING INDUSTRY’, in *Proc. 24th Ann. Conf. of the Int’l. Group for Lean Construction*, pp. 143–152.

Newton, C. *et al.* (2018) ‘Plug n Play : Future Prefab for Smart Green Schools’. doi: 10.3390/buildings8070088.

Objectifs BIM (2012a) *Le Format BCF - BIM Collaboration Format*. Available at: <http://www.objectif-bim.com/index.php/openbim/bcf-format-de-collaboration-bim>.

Objectifs BIM (2012b) *Open BIM : Format IFC*. Available at: <http://www.objectif-bim.com/index.php/openbim/format-ifc>.

Olawumi, T. O. and Chan, D. W. M. (2019) ‘Critical success factors for implementing building information modeling and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey’, *Sustainable Development*, 27(4), pp. 587–602. doi: 10.1002/sd.1925.

Poirier, E. A. *et al.* (2018) *Accroître la performance de la filière québécoise de la construction par le virage numérique*.

Poirier, E. A. (2018) *L’Initiative québécoise pour la construction 4.0 : soutenir le virage BIM au Québec*.

Pomerleau (2014) *Centre universitaire de santé McGill - Centre de recherche (CR-CUSM)*. Available at: <https://pomerleau.ca/fr/projets/10/centre-universitaire-de-sante-mcgill-cusm-centre-de-recherche-laboratoires-cliniques-et-centrale-thermique>.

Pomerleau (2015) *Centre Vidéotron*. Available at: <https://pomerleau.ca/fr/projets/122/centre-vidéotron>.

Productique Québec (2016) *FEUILLE DE ROUTE INDUSTRIE 4.0*. Québec.

Robichaud, F. *et al.* (2015) *Compétitivité et opportunités pour l'industrie québécoise des bâtiments préfabriqués*.

Sardroud, J. M., Mehdizadehtavasani, M. and Khorramabadi, A. (2018) 'Barriers Analysis to Effective Implementation of BIM in the Construction Industry', in *35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2018)*. doi: 10.22260/ISARC2018/0009.

Sebastian, R. and Haak, W. (2009) 'BIM Application for Integrated Design and Engineering in Small- Scale Housing Development : A Pilot Project in The Netherlands', in *International Symposium CIB-W096 'Future Trends in Architectural management'*.

Shen, Q. and Qi, M. (2018) 'The Development Strategy of Prefabricated Construction Component Factory from the Perspective of Supply Chain', in *ICCREM 2018*, pp. 206–213.

Smith, D. K. and Tardif, M. (2009) *Building Information Modeling : A strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Manager*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Smith, P. (2014) 'BIM implementation - global strategies', *Procedia Engineering*, 85, pp. 482–492. doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.575.

Société d'habitation Québec (2014) 'VISION 2030 : Filière exportatrice de systèmes de construction verte'.

Staub-french, S. *et al.* (2011) *An investigation of Best practices through Case studies at*

Regional, National and International levels.

Succar, B. (2009a) 'BIM framework : Essentials BIM Maturity', in.

Succar, B. (2009b) 'The Five Components of BIM Performance Measurement 1 . Building Information Modelling : a brief introduction', in.

Tan, T. *et al.* (2019) 'Barriers to Building Information Modeling (BIM) implementation in China ' s prefabricated construction : An interpretive structural modeling (ISM) approach', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 219, pp. 949–959. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.141.

Tazehzadeh, M. N., Rezaei, A. and Kamali, S. (2018) 'Supply Chain Risk Management in Canadian Construction Industry', (May).

Tennant, S., Fernie, S. and Murray, M. (2011) 'THE MYTH OF BEST PRACTICE THROUGH THE LENS OF CONSTRUCTION SUPPLY CHAIN MANAGEMENT'.

Thunberg, M., Rudberg, M. and Gustavsson, T. K. (2014) 'Identifying and positioning construction supply chain planning problems', *Proceedings 30th Annual Association of Researchers in Construction Management Conference, ARCOM 2014*, (September), pp. 1069–1078.

Tremblay, S. *et al.* (2016) *Guide D ' Application Du Bim à la société québécoise des infrastructures*. Version 1. Edited by S. québécoise des Infrastructures.

U.S. General Services Administration (2007) *GSA Building Information Modeling Guide Series 01 – Overview, Program*. Available at: http://www.gsa.gov/graphics/pbs/GSA_BIM_Guide_v0_60_Series01_Overview_05_14_07.pdf.

Valero, E. *et al.* (2016) 'Semantic 3D Reconstruction of Furnished Interiors Using Laser Scanning and RFID Technology', *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(4), pp. 1–19. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000525.

Vazquez, A. R. (2011) *L ' industrialisation du bâtiment : le cas de la préfabrication dans la*

*construction scolaire en France (1951-1973) To cite this version : HAL Id : tel-00554230
L ' industrialisation du bâtiment Le cas de la préfabrication dans la construction scolaire.*

Wang, Y., Wang, G. and Wang, J. (2011) 'Research on the application of BIM technology in the project management of hospital construction'.

Yingchao, W. (2019) 'Research on Risk Management of Prefabricated Construction Supply Chain Based on Immune Principle'. doi: 10.1088/1755-1315/371/5/052058.

Zhanglin, G., Si, G. and Jun-e, L. (2017) 'Application of BIM technology in prefabricated building', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi: 10.1088/1755-1315/100/1/012178.

Annexe A : Les questions posées durant les entrevues

1. Parlez-moi de vous et de votre parcours professionnel, etc. ?
2. Depuis quand vous utilisez le BIM ? Et pour quels types de projets ?
3. Quels sont les avantages et les applications du BIM dans un projet type ?
4. Selon votre expertise, quels sont les limites du BIM et les risques à prendre en compte en migrant vers une telle approche ?
5. Pouvez-vous nous parler de votre rôle dans ce processus ? (Si gestionnaire BIM Quelles sont les compétences que doit avoir un gestionnaire BIM ?)
6. Pouvez-vous nous décrire les stratégies que vous avez suivies pour passer de la méthode traditionnelle à celle BIM, au sein de votre organisme ? (en amont, au cours de l'implantation et en aval)
7. Quels sont les problèmes souvent rencontrés lors de l'implantation du BIM ?
8. Une fois implanté, pouvez-vous nous parler des meilleures pratiques pour s'adapter avec ce nouveau processus ?
9. Quel est le rôle de chaque acteur dans ce processus et à quel étape du projet il intervient (architecte/ingénieur/entrepreneur/client/gestionnaire BIM) ?
10. Pouvez-vous nous expliquer la procédure de coordination et de communication entre toutes les parties prenantes pour tirer profit du BIM ? (Réunion, téléphone, courriel)
11. Quels sont les logiciels BIM que vous utilisez, que vous recommandez à vos clients et sur quelle base vous effectuez un tel choix ?
12. Dans la méthode BIM, pouvez-vous nous parler des nouvelles informations à préciser dans la partie réglementation et documents contractuels ?
13. Une fois implanté, quelles sont les mesures à prendre par l'entreprise pour évaluer sa progression via le BIM ?
14. Le BIM en préfabrication qu'en pensez-vous (son utilité, ses particularités lors de l'implantation, etc.) ?
15. Quels sont les acteurs les plus réticents à l'implantation du BIM et comment gérer cette situation pour leur motiver envers cette approche ?
16. Pouvez-vous nous parler de l'état actuel de l'industrie de préfabrication vis-à-vis du BIM et à quel point ils le maîtrisent ?

Annexe B : Les questions du sondage

Partie 1 : Questions générales concernant le participant et l'entreprise

1. Combien d'employés compte votre entreprise ?
 - 99 employés et moins
 - 100 à 499 employés
 - Plus que 499 employés
2. Quel est votre titre ou poste au sein de l'entreprise ?
 - Ingénieur structure ou MEP
 - Architecte
 - Gestionnaire
 - Maître d'ouvrage
 - Gérant
 - Chef de projet
 - Autre (veuillez préciser)
3. Combien d'années d'expérience avez-vous dans ce domaine ?
 - Moins de 5 ans
 - Entre 5 et 10 ans
 - Plus que 10 ans
 - Autre (veuillez préciser)
4. Quels sont les principaux secteurs d'activité de votre entreprise ?
 - Projets de maisons unifamiliales
 - Projets résidentiels
 - Projet de multi-logements
 - Autre (veuillez préciser)

Partie 2 : Questions sur les projets de multi-logements

5. Est-ce que votre entreprise fait face à une forte demande de projets multi-logements ?
 - Oui
 - Non
6. Si oui, quelle(s) est/sont la/les raisons selon vous derrière cette demande ?
 - Tendance du marché (exemple : densification des villes)

- Rapidité et qualité des projets livrés
 - Réduction de l'impact environnemental
 - Rentabilité des projets
 - Autre raison (veuillez préciser)
7. Quel est le ou les principaux marchés visés par votre entreprise ?
- Le marché local
 - Les États-Unis
 - L'Europe
 - L'Asie
 - L'Afrique
 - Autre (veuillez préciser)
8. Quels sont les avantages qui distinguent votre entreprise par rapport à ses concurrents dans ce domaine ?
- Prix compétitif
 - Qualité
 - Livraison rapide
 - Modèles personnalisables
 - Offre de service d'entretien et de maintenance
 - Autre (veuillez préciser)
9. Quels changements sont visés par votre entreprise dans le futur ?
- Augmenter la productivité
 - Augmenter la gamme des produits
 - Améliorer les processus d'affaires
 - Revoir la chaîne d'approvisionnement
 - Autre (veuillez préciser)
10. Quelles sont les nouvelles technologies que vous prévoyez implanter dans votre entreprise ?
- Chaîne de production totalement automatisée
 - Chaîne de production semi automatisée
 - Recours à la modélisation 3D
 - Utilisation de logiciels personnalisés

- Autre (veuillez préciser)

11. Quels sont les obstacles qui retardent votre croissance dans ce secteur d'activité ?

- Pénurie de main d'œuvre
- Manque de capacité de production
- Grande concurrence
- Manque de liquidités
- Autre (veuillez préciser)

12. Quelles sont les **grandes étapes suivies** par votre entreprise pour réaliser un projet multi-logements depuis l'appel d'offres jusqu'à la clôture du projet ?

- 1- Planification des ressources requises, du budget, de l'échéancier, etc.
 - 2- Conception/Modélisation des éléments à fabriquer
 - 3- Estimation des matériaux à commander
 - 4- Commande des matériaux (approvisionnement)
 - 5- Fabrication des éléments en usine
 - 6- Transport/ Livraison des éléments vers le site
 - 7- Mise en œuvre (installation, assemblage et finition)
- Autre (veuillez préciser)

13. Précisez l'importance en termes de **temps investi** pour les phases suivantes :

Phase \	Extrêmement important	Très important	Relativement important	Peu important	Pas du tout important
Conception					
Fabrication					
Transport					
Mise en œuvre					
Autre (veuillez préciser)					

14. Précisez l'importance en termes de **risques et de problèmes rencontrés** pour les phases suivantes :

Phase	Extrêmement important	Très important	Relativement important	Peu important	Pas du tout important
Conception					
Fabrication					
Transport					
Mise en œuvre					
Autre (veuillez préciser)					

15. Quels sont les acteurs avec qui vous êtes appelés à travailler pour chacune des grandes phases de réalisation d'un projet multi-logements ?

Phase Acteurs	Conception	Fabrication	Transport/ Livraison	Mise en œuvre
Le maître d'ouvrage/client				
L'architecte				
L'ingénieur structure				
L'ingénieur MEP				
Le chef de projet				
Autre acteur (veuillez préciser)				

16. Quels sont les problèmes souvent rencontrés lors de la réalisation d'un tel projet ?

- Problèmes liés à la main d'œuvre
- Problèmes liés au milieu de travail
- Problèmes liés aux méthodes et processus de travail
- Problèmes liés au matériaux

- Problèmes liés à la logistique
- Autre problème (veuillez préciser)

17. Votre entreprise a-t-elle établi des partenariats d'affaires avec des entreprises du secteur dans les dernières années ?

- Oui
- Non

18. En cas de partenariats d'affaires, quelles sont les étapes durant lesquelles votre entreprise est/a été impliquée ?

- Conception/Modélisation
- Fabrication
- Livraison
- Mise en œuvre
- Autre (veuillez préciser)

19. À quelle fréquence les activités suivantes ont lieu lors de la réalisation d'un projet type ?

Activité/fréquence	Quotidienne	Hebdomadaire	Mensuelle	Annuelle
Révision des dessins de fabrication				
Révision du budget				
Révision de l'échéancier				
Rencontre ou réunion du groupe pour suivre l'avancement du projet				

20. Quels sont les éléments d'un projet multi-logements type qui sont réalisés en usine ?

- Les composants préfabriqués (poutrelles, planchers, ferme de toit, etc.)
- Les panneaux muraux
- Les modules
- Autre (veuillez préciser)

21. Quels sont les logiciels que vous utilisez pour faire la modélisation ?

- ArchiCAD
- AutoCAD
- BIM pipeline

- CadWork
- Revit
- Sketchup
- SolidWorks
- StrucSoft Solutions' MWF
- Tekla Structure
- Vectorworks
- Autre (veuillez préciser)

22. La gestion du projet (estimation du coût, de l'échéancier, etc.) s'effectue via quels logiciels ? (Veuillez préciser)

23. Avez-vous des formats standards en termes de documents (Word, Excel, etc.) à utiliser dans un tel projet (pour la planification, l'estimation des coûts, les devis, les factures, les procès-verbaux, etc.) ?

- Oui
- Non

24. Quel est le nombre de projets de multi-logements auxquels votre entreprise participe annuellement ?

- Aucun
- Moins de 5 projets
- Entre 5-10 projets
- Plus de 10 projets

25. Est-ce qu'il y a des retards dans la livraison des projets ? Si oui à quelle fréquence sur 10 projets ?

- Aucun retard
- Retard dans plus de 5 projets
- Retard dans moins de 5 projets

Partie 3 : Questions vis-à-vis du BIM dans les projets de multi-logements

26. Connaissez-vous la Modélisation des informations du bâtiment (MDB), communément appelée BIM (*Building Information Modeling*) ?

- Oui
- Non

27. Si oui, avez-vous commencé à implanter BIM et à l'utiliser dans vos projets ?

- Oui
- Non

28. Si oui, depuis quand avez-vous commencé à utiliser le BIM ?

- Moins d'une année
- Entre 1 et 2 ans
- Entre 2 et 5 ans
- Plus que 5 ans

29. Sinon, prévoyez-vous l'adoption du BIM ?

- Oui
- Non

30. Précisez l'importance accordée à chacun des avantages potentiels du BIM dans un projet multi-logements :

	Extrêmement important	Très important	Relativement important	Peu important	Pas du tout important
Diminuer le coût total du projet					
Réduire la durée d'exécution du projet					
Augmenter la productivité					
Favoriser la communication et la coordination					
Assurer une meilleure					

gestion du projet					
-------------------	--	--	--	--	--

31. Précisez les freins potentiels à l'implantation ou à l'utilisation du BIM dans votre entreprise :

	Totalement d'accord	Plutôt d'accord	Ni en accord ni en désaccord	Plutôt en désaccord	Totalement en désaccord
Barrière humaine Résistance au changement					
Barrière technologique L'interopérabilité entre les logiciels					
Barrière financière Investissement important					
Barrière organisationnelle (absence de plan d'action, besoin de normalisation, etc.)					
Barrière légale (Type de contrat, partage des responsabilités et des risques, etc.)					