

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

RÔLE ET MISE EN PLACE DU BIM DANS L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION

MÉMOIRE PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA  
MAÎTRISE EN GESTION DE PROJET

PAR  
MASOUMEH AMIRI

OCTOBRE 2023

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

## SOMMAIRE

La gestion des changements dans le contexte des projets de construction constitue un enjeu majeur. Divers facteurs tels que des erreurs dans les détails de conception, la coordination insuffisante des membres de l'équipe de projet, l'estimation erronée des délais et des coûts, ainsi que les interférences et retouches, peuvent entraîner des modifications inévitables. L'adoption de technologies modernes, telles que la modélisation des informations du bâtiment (BIM), peut améliorer la coordination des modifications apportées à un modèle et réduire les coûts de reprise ainsi que les retards. Il est donc essentiel de prendre en compte dès le début du projet les éventuels changements et de les gérer efficacement tout au long du processus de construction. Le BIM est largement reconnu comme une avancée révolutionnaire dans l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction. Toutefois, malgré ses nombreux avantages, l'absence de son adoption généralisée dans certaines régions peut indiquer un manque de recherche approfondie dans ce domaine.

Pour la réussite d'un projet de construction, le chef de projet utilise divers outils pour faciliter la gestion et le contrôle du projet. En utilisant ces connaissances, il est possible pour les chefs de projet d'obtenir les informations nécessaires dont ils ont besoin avec un minimum de temps d'accès et en fournissant une image exécutive du calendrier ainsi qu'une estimation précise des coûts. Cela peut être un outil efficace pour les chefs de projet pour contrôler le projet, augmenter la productivité et réduire les pertes.

La présente étude se focalise sur l'exploration de l'application du BIM en tant qu'outil de gestion de projets de construction, ainsi que sur l'identification des exigences nécessaires pour son adoption par les entreprises contractantes en vue de prévenir les écarts de temps et de coûts engendrés par les changements et les retouches.

Afin d'atteindre cet objectif, une enquête approfondie a été menée pour examiner les conditions existantes dans ce domaine, et un questionnaire a été élaboré et soumis à une analyse rigoureuse en utilisant le logiciel SPSS. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence de manière éloquente la justification de l'utilisation du BIM dans les conditions actuelles pour les entreprises contractantes, en raison de sa

capacité démontrée à éviter les coûts de reprise et les retards dans les projets de construction. Cette adoption du BIM peut ainsi offrir des avantages substantiels aux entreprises cherchant à améliorer leur efficacité et leur rentabilité dans la gestion de leurs projets de construction.

## TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	ii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES .....	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xii
REMERCIEMENTS .....	xiii
CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE MANAGÉRIALE.....	14
1.1 INTRODUCTION .....	14
1.2 PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE : L'IMPACT DE LA REPRISE SUR LES PROJETS DE CONSTRUCTION : ENQUÊTE SUR L'EFFICACITÉ DU BIM .....	23
1.3 PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE : FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS ET DE L'AMÉLIORATION DE L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION GRÂCE AUX NOUVELLES TECHNOLOGIES .....	25
1.4 LOCALISATION DE LA RECHERCHE .....	26
1.5 OBJECTIFS ET QUESTIONS DE RECHERCHE .....	28
<b>Les objectifs de la recherche .....</b>	<b>29</b>
<b>Les questions de la recherche .....</b>	<b>30</b>
<b>Les hypothèses de la recherche.....</b>	<b>30</b>
1.6 PÉRIMÈTRE DE LA RECHERCHE.....	31
CHAPITRE 2 : CONTEXTE THÉORIQUE .....	34
2.1 INTRODUCTION .....	34
<b>2.1.1 Le concept de BIM.....</b>	<b>36</b>
<b>2.1.2 Le logiciel de BIM .....</b>	<b>39</b>
<b>2.1.3 L'application du BIM dans l'exécution de projets d'édification</b>	<b>40</b>

<b>2.1.4 Les objectifs de l'utilisation de la technologie BIM à différentes étapes du cycle de vie du projet.....</b>	<b>42</b>
<b>2.1.5 Les défis de l'utilisation de la technologie BIM.....</b>	<b>46</b>
<b>2.1.6 Le BIM dans les pays développés.....</b>	<b>47</b>
<b>2.1.7 Le coût d'utilisation de la technologie BIM dans les projets d'édification .....</b>	<b>48</b>
<b>2.2 LE CORPUS DES CONNAISSANCES EN GESTION DE PROJET (PMBOK) .....</b>	<b>48</b>
<b>2.3 GROUPES DE PROCESSUS.....</b>	<b>51</b>
<b>2.4 PMBOK ET BIM .....</b>	<b>52</b>
<b>    2.4.1 Gestion de l'intégration et BIM .....</b>	<b>54</b>
<b>    2.4.2 Gestion de la portée et BIM .....</b>	<b>55</b>
<b>    2.4.3 Gestion du temps et BIM.....</b>	<b>57</b>
<b>    2.4.4 Gestion des coûts et BIM.....</b>	<b>58</b>
<b>    2.4.5 Gestion de la qualité et BIM .....</b>	<b>61</b>
<b>    2.4.6 Gestion des ressources humaines et BIM.....</b>	<b>63</b>
<b>    2.4.7 Gestion de la communication et BIM.....</b>	<b>64</b>
<b>    2.4.8 Gestion des risques et BIM .....</b>	<b>65</b>
<b>    2.4.9 Gestion des achats et BIM .....</b>	<b>67</b>
<b>2.5 AUTRES DOMAINES DE CONNAISSANCES EN GESTION DE PROJET.....</b>	<b>68</b>
<b>    2.5.1 Gestion de la sécurité et BIM.....</b>	<b>69</b>
<b>    2.5.2 Gestion environnementale du projet et BIM.....</b>	<b>70</b>
<b>    2.5.3 Gestion financière du projet et BIM.....</b>	<b>71</b>
<b>    2.5.4 Gestion des réclamations de projet et BIM .....</b>	<b>73</b>
<b>2.6 OBJECTIFS DE L'ÉDIFICATION D'UNE TECHNOLOGIE DE BIM DANS LA GESTION DE PROJET .....</b>	<b>74</b>

<b>2.6.1 Illustration .....</b>	<b>74</b>
<b>2.6.2 Capacité à construire .....</b>	<b>74</b>
<b>2.3.6 Coopération.....</b>	<b>75</b>
<b>2.6.4 Détection d'interférences.....</b>	<b>75</b>
<b>2.6.5 Planification.....</b>	<b>76</b>
<b>2.6.6 Estimation des valeurs .....</b>	<b>76</b>
2.7 APPLICATIONS DE LA TECHNOLOGIE DE BIM POUR LES CHEFS DE PROJET .....	77
<b>2.7.1 Élaboration d'une planification et d'un budget .....</b>	<b>77</b>
<b>2.7.2 Bonne relation avec l'équipe de conception .....</b>	<b>77</b>
<b>2.7.3 Recrutement et contrôle des sous-traitants.....</b>	<b>77</b>
<b>2.7.4 Demande d'informations (RFI) et ordres de modification.....</b>	<b>78</b>
<b>2.7.5 Satisfaction de l'employeur .....</b>	<b>78</b>
<b>2.7.6 Clôture du projet.....</b>	<b>78</b>
<b>2.7.7 Marge bénéficiaire .....</b>	<b>78</b>
<b>2.7.8 Augmentation du nombre d'employeurs exigeant l'exécution de la technologie BIM dans les projets .....</b>	<b>78</b>
2.8 LE RÔLE DE LA TECHNOLOGIE DE BIM DANS LA GESTION DE LA RÉNOVATION ET DE L'AMÉLIORATION DES BÂTIMENTS .....	78
CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE .....	81
<b>3.1 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE.....</b>	<b>81</b>
<b>3.2 COLLECTE DES DONNÉES.....</b>	<b>83</b>
CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	85
<b>4.1 ANALYSE DESCRIPTIVE DE L'ÉCHANTILLON .....</b>	<b>85</b>
<b>4.1.1 Informations organisationnelles .....</b>	<b>86</b>

<b>4.1.2 Examen des évolutions des projets de construction .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1.3 Conduite du changement avec le BIM.....</b>	<b>92</b>
<b>4.1.4 les bases nécessaires à l'utilisation du BIM dans les entreprises de construction .....</b>	<b>96</b>
<b>4.2 TESTS D'HYPOTHÈSES.....</b>	<b>98</b>
<b>La première hypothèse .....</b>	<b>98</b>
<b>La seconde hypothèse .....</b>	<b>102</b>
<b>CHAPITRE 5 : CONCLUSION .....</b>	<b>106</b>
<b>5.1 CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>106</b>
<b>5.2 LES RÉSULTATS OBTENUS CONCERNANT L'IMPACT DE BIM SUR LA GESTION DES DÉLAIS, DES COÛTS ET DES REPRISES DANS LES PROJETS DE CONSTRUCTION.....</b>	<b>107</b>
<b>5.3 RECHERCHE D'HYPOTHÈSES .....</b>	<b>109</b>
<b>La première hypothèse .....</b>	<b>109</b>
<b>La seconde hypothèse .....</b>	<b>110</b>
<b>5.4 CONCLUSION .....</b>	<b>110</b>
<b>PROPOSITIONS POUR DES RECHERCHES FUTURES.....</b>	<b>111</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>112</b>
Annexe A .....	112
Annexe B .....	116
<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>121</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1 - Objectifs et questions de recherches .....</b>	30
<b>Tableau 2 - Logiciels de BIM.....</b>	40
<b>Tableau 3 - Recueil Complet de Corpus de Connaissances et Méthodologies en gestion de Projet .....</b>	49
<b>Tableau 4 - Répartition des répondants selon la responsabilité exécutive.....</b>	87
<b>Tableau 5 - Répartition des répondants selon le niveau d'études.....</b>	88
<b>Tableau 6 - Répartition des répondants selon la quantité d'expérience de travail .</b>	88
<b>Tableau 7 - Répartition des répondants selon le nombre de membres de l'équipe de direction.....</b>	89
<b>Tableau 8 - Répartition des répondants selon le soutien de l'entreprise aux projets d'édification.....</b>	89
<b>Tableau 9 - Répartition des répondants selon les raisons des changements dans les projets d'édification .....</b>	90
<b>Tableau 10 - Répartition des réponses des répondants selon les facteurs influençant le changement du projet.....</b>	90
<b>Tableau 11 - Répartition des répondants selon le type de changement le plus important dans le projet .....</b>	90
<b>Tableau 12 - Répartition des répondants selon les effets négatifs des changements d'étapes du projet .....</b>	91
<b>Tableau 13 - Répartition des répondants selon les effets négatifs les plus importants découlant des changements apportés au projet .....</b>	91
<b>Tableau 14 - Répartition des répondants selon les facteurs influençant le changement de projet.....</b>	92
<b>Tableau 15 - Répartition des répondants selon les facteurs pour réduire les effets négatifs des changements .....</b>	92
<b>Tableau 16 - Répartition des répondants selon le niveau de familiarité avec le système BIM .....</b>	92
<b>Tableau 17 - Répartition des répondants selon l'utilisation des logiciels de cartographie .....</b>	93
<b>Tableau 18 - Répartition des répondants selon les problèmes de changement .....</b>	93
<b>Tableau 19 - Répartition des répondants selon le traitement des problèmes d'activité professionnelle.....</b>	94
<b>Tableau 20 - Répartition des répondants selon leur attitude vis-à-vis des effets et des capacités du nouveau système BIM .....</b>	94
<b>Tableau 21 - Répartition des répondants selon leur familiarité avec les logiciels BIM .....</b>	95

<b>Tableau 22 - Répartition des répondants selon les motifs d'utilisation du logiciel BIM.....</b>	95
<b>Tableau 23 - Répartition des répondants selon leur volonté d'implémenter la technologie de modélisation BIM dans les projets.....</b>	95
<b>Tableau 24 - Répartition des répondants selon la nécessité du système BIM .....</b>	96
<b>Tableau 25 - Répartition des répondants selon les limites de l'exécution du projet basé sur le système BIM .....</b>	97
<b>Tableau 26 - Répartition des répondants selon les projets les plus adaptés à l'utilisation du système BIM .....</b>	97
<b>Tableau 27 - Répartition des répondants selon l'étape la plus utile d'utilisation et d'application du système BIM .....</b>	98
<b>Tableau 28 – Détermination du niveau de familiarité avec le nouveau système de BIM.....</b>	98
<b>Tableau 29 - Détermination de l'étape la plus importante de l'utilisation et de l'application du système BIM .....</b>	99
<b>Tableau 30 - Détermination des projets d'édification les plus appropriés pour utiliser le système BIM.....</b>	99
<b>Tableau 31 - Détermination des limites de l'exécution du projet sur la base du système BIM .....</b>	100
<b>Tableau 32 – Détermination de l'attitude envers la nécessité du système BIM ....</b>	101
<b>Tableau 33 – Détermination de la volonté d'utiliser le système de modélisation dans les projets actuels et avenir .....</b>	101
<b>Tableau 34 – Détermination de l'application du logiciel BIM comme réduisant les effets négatifs des modifications du projet .....</b>	102
<b>Tableau 35 – Détermination de la relation entre l'utilisation d'un logiciel BIM et la réduction des effets négatifs des modifications du projet.....</b>	103
<b>Tableau 36 – Détermination de la relation entre le niveau de familiarité avec le BIM et le traitement des problèmes d'activité exécutive .....</b>	104
<b>Tableau 37 – Détermination de la relation entre le niveau de familiarité avec le logiciel BIM et la capacité de faire face aux problèmes de faire des changements .....</b>	105

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 - Modélisation des informations du bâtiment (BIM) .....</b>	14
<b>Figure 2 - Dimensions BIM .....</b>	15
<b>Figure 3 - Technologies de l'Information et de la Communication .....</b>	16
<b>Figure 4 - Vue tridimensionnelle d'un bâtiment .....</b>	19
<b>Figure 5 - BIM Processus de création.....</b>	21
<b>Figure 6 - Types de méthodes d'application BIM.....</b>	22
<b>Figure 7 - Recherches sur le thème de la BIM et la gestion de projet au fil des ans</b>	27
<b>Figure 8 - Localisation de la recherche dans les cadres de références théoriques ...</b>	28
<b>Figure 9 - Cadre conceptuel préliminaire .....</b>	29
<b>Figure 10 - Organigramme des étapes du processus de recherche.....</b>	33
<b>Figure 11 - BIM : Outil et Processus basé sur une Grande Base de Données .....</b>	36
<b>Figure 12 - Algorithme des documents de contrat d'édification.....</b>	37
<b>Figure 13 - Logiciels BIM.....</b>	39
<b>Figure 14 - Usages BIM tout au long du cycle de vie d'un bâtiment (organisés par ordre chronologique de la planification à l'exploitation).....</b>	42
<b>Figure 15 - Livraison de projet intégrée.....</b>	43
<b>Figure 16 - 9 domaines du PMBOK dans l'Industrie de l'Édification .....</b>	50
<b>Figure 17 - Corpus de connaissances en gestion de projet .....</b>	51
<b>Figure 18 - Les Capacités de la Technologie BIM dans la Gestion de Projet de l'Édification .....</b>	53
<b>Figure 19 - Processus de gestion de l'intégrité du projet .....</b>	54
<b>Figure 20 - Processus de gestion de la portée du projet.....</b>	56
<b>Figure 21 - Processus de gestion du temps de projet .....</b>	57
<b>Figure 22 - Processus de gestion des coûts de projet .....</b>	60
<b>Figure 23 - Processus de gestion de la qualité des projets .....</b>	62
<b>Figure 24 - Processus de gestion des RH du projet .....</b>	63
<b>Figure 25 - Processus de gestion de la communication du projet .....</b>	64
<b>Figure 26 - Processus de gestion des risques du projet .....</b>	66
<b>Figure 27 - Processus de gestion des achats du projet .....</b>	67
<b>Figure 28 - Autres domaines de connaissances en gestion de projet .....</b>	68
<b>Figure 29 - Processus de gestion de la sécurité du projet .....</b>	69
<b>Figure 30 - Processus de gestion environnementale du projet .....</b>	70
<b>Figure 31 - Processus de gestion financière du projet .....</b>	72
<b>Figure 32 - Processus de gestion des réclamations de projet .....</b>	73
<b>Figure 33 - Image de détection de collision à l'aide de la technologie de BIM .....</b>	75
<b>Figure 34 - Image de détection de collision à l'aide de la technologie de BIM .....</b>	76

<b>Figure 35 - Objectifs de BIM dans la gestion de projet .....</b>	77
<b>Figure 36 - Schématisation de la répartition de la responsabilité exécutive des répondants .....</b>	87
<b>Figure 37 - Relation entre le niveau de familiarité avec le BIM et les problèmes d'activité exécutive .....</b>	104
<b>Figure 38 - Relation entre le niveau de familiarité avec le logiciel BIM et faire face aux problèmes de faire des changements .....</b>	105

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS**

BIM: Building Information Modeling

ISO: International Organization for Standardisation.

CAD: Computer-Aided Design

AEC: Architecture, Engineering & Construction

ICT: Information and Communication Technology

IPD: Integrated Project Delivery

CPM: Critical Path Method

WBS: Work Breakdown Structure

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

## REMERCIEMENTS

Je suis très reconnaissante envers le professeur **Darli Rodrigues Vieira**, mon directeur de recherche, car sans ses conseils, il aurait été très difficile de terminer ce mémoire.

Je tiens à remercier également les professeurs Christophe Bredillet et Alencar Bravo ainsi qu'aux chargés de cours Adrienne Moreira et Tassia Farssura.

Merci aussi à Raphaelle Morin et à mes amis de l'UQTR : Akbar, Panteha et Mina.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers ma famille, qui est ma principale source de motivation dans la vie et qui m'a toujours soutenu et encouragé.

Je vous présente mes respects, et je souhaite dédier ce mémoire à mon compagnon de vie, qui a eu la gentillesse de m'encourager et de me soutenir tout au long de ces nombreuses années. Sa contribution a grandement contribué à mon amélioration personnelle et à mon développement.

## CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE MANAGÉRIALE

### 1.1 INTRODUCTION

Dans le monde d'aujourd'hui, la science et les technologies avancent rapidement et la concurrence sur les projets d'édification est de plus en plus impitoyable (Krygiel and Nies, 2008). Le temps, le coût et l'énergie sont devenus des éléments critiques qui déterminent la réussite ou l'échec des projets. Donc, la concentration des acteurs de l'édification sur la réduction des coûts et des délais, le développement durable et la gestion efficace de l'énergie est en plus en plus importante. L'un des moyens plus utiles qui améliore le processus d'édification depuis la conception jusqu'à l'exploitation est l'utilisation de BIM. Cette technologie est considérée comme une révolution dans l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de l'édification et le manque d'utilisation généralisée dans certaines régions demande une recherche supplémentaire. Selon la norme ISO 28491-1 : 2111, BIM est définie comme une image numérique des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'une structure, permettant de prendre des décisions fiables tout au long du cycle de vie de la structure (Xu et al., 2014).

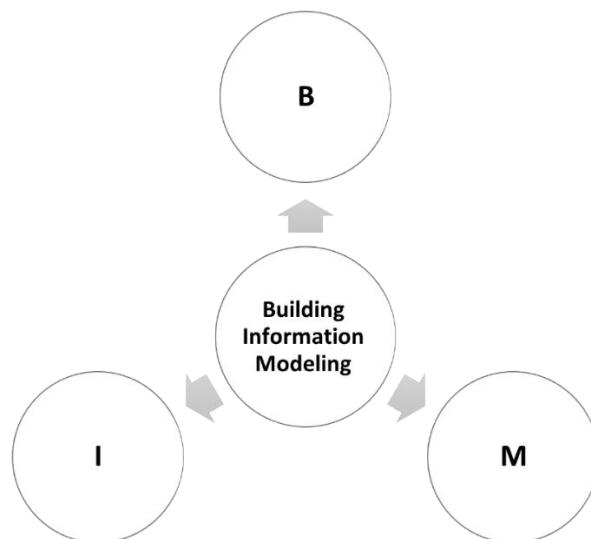
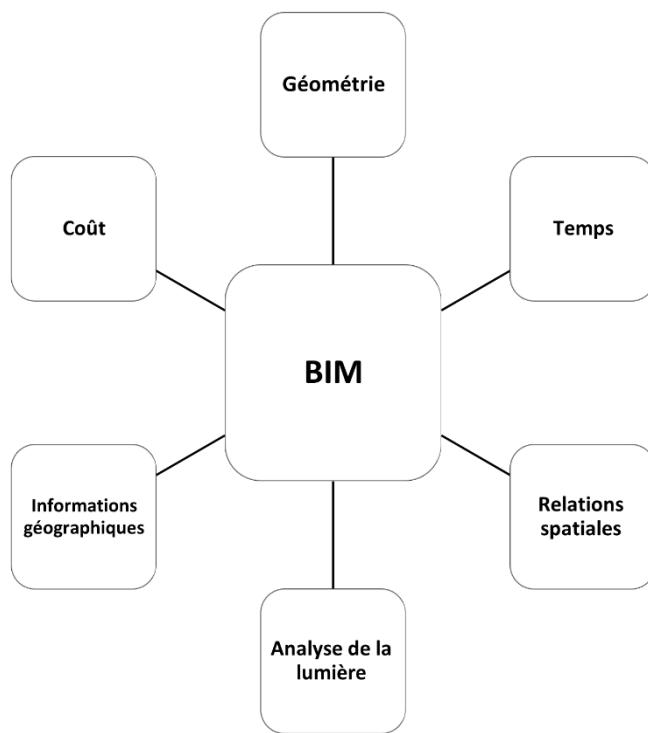


Figure 1 - Modélisation des informations du bâtiment (BIM)

Source : (Eastman et al., 2011)

Par le passé, la conception de bâtiments se basait principalement sur des dessins techniques en deux dimensions, telles que des plans, des élévations et des coupes (Guerreau, 1992). La modélisation de données de bâtiments s'est développée pour inclure des cartes en trois dimensions (longueur, largeur, profondeur) ainsi que d'autres dimensions. Les dimensions du temps et du coût sont également incluses, connues respectivement comme la quatrième et la cinquième dimension. En outre, d'autres dimensions peuvent être ajoutées (Crotty, 2013). Ainsi, la modélisation de données de bâtiments couvre non seulement la géométrie, mais aussi des aspects tels que les relations spatiales, l'analyse de la lumière, les informations géographiques, la quantification et les caractéristiques des composants de bâtiments (Zou et al., 2017).

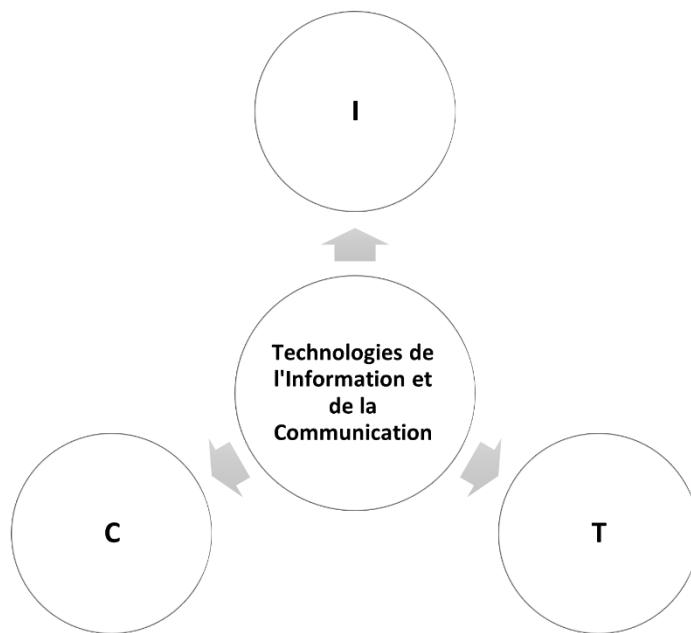


**Figure 2 - Dimensions BIM**

Source : (Sacks et al., 2018)

Les projets d'édification sont de plus en plus complexes en raison de la collaboration et de la dépendance mutuelle nécessaires entre les différents acteurs impliqués, tels que les architectes, les ingénieurs en structure, électricité et mécanique, les entrepreneurs et les employeurs (Kalay, 2004). Il est donc crucial d'avoir une

interaction efficace et une distribution opportune de l'information entre les différents acteurs pour gérer et contrôler un projet d'édification réussi (Clough et al., 2000). En réponse à ces défis croissants, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) connaissent une croissance rapide. Au cours de la dernière décennie, les avancées technologiques en matière de TIC ont permis le développement et l'expansion de la modélisation de données de bâtiments, qui sont considérés comme un nouveau modèle de conception assistée par ordinateur par les milieux universitaires et industriels (Koujil, 2021).



**Figure 3 - Technologies de l'Information et de la Communication**

Source: (Nyarko and Kozári, 2021)

Avant les années 1970, les plans d'édification étaient dessinés au crayon et à l'encre, sur papier. Corriger les erreurs des cartes était très difficile, et surtout, si les erreurs affectaient d'autres cartes dépendantes, le résultat était très défavorable (Kalay, 2004). Au cours de la décennie précédente, des méthodes de conception assistée par ordinateur (CAD) ont été inventées mais ne pouvaient être mises en œuvre que sur des terminaux d'infographie mainframe. À partir des années 1980, avec l'invention des ordinateurs personnels, l'utilisation de programmes de CAD s'est généralisée dans

les bureaux d'études. Avec cet outil, dessiner, modifier et transférer des cartes est devenue très facile, la vitesse de travail a augmenté et le dessin de formes complexes et tridimensionnelles est entré dans une nouvelle ère. Les capacités de CAD étaient supérieures aux méthodes manuelles, mais malgré la capacité de la 3D, il manquait toujours des capacités de BIM (ZARROUG, 2020).

La CAD est simplement une représentation 3D d'une conception 2D et contrairement au BIM, elle n'est pas intelligente. Par exemple, le modèle CAD 3D n'est pas capable d'identifier les erreurs qu'il contient et surtout ne peut pas corriger automatiquement les erreurs en fonction de la situation existante, il a une impossibilité de reconnaître le lien entre, par exemple, les plans, les vues et les coupes. Le concept de BIM va au-delà de la CAD et est en fait un système de modélisation basé sur une base de données (Data Base). En BIM, le processus de conception, en construisant un modèle avec ses composants intelligents, représentant des poutres, des colonnes, des plafonds, des murs intérieurs et extérieurs, des escaliers, des portes et fenêtres, un système de climatisation, des installations mécaniques, des installations électriques. Ces composants reconnaissent à la fois eux-mêmes, et leur relation avec d'autres composants (Del Grosso et al., 2017).

Ainsi, pour obtenir des informations sur un composant spécifique, il n'est pas nécessaire d'examiner plusieurs plans, plusieurs vues de coupe, etc. Il suffit de se référer directement au composant lui-même. Ce composant stocke en lui-même toutes les informations relatives à ses propriétés et s'adapte au nouveau design en appliquant toute modification de ses propriétés.

La principale différence entre le BIM et un modèle CAD tridimensionnel conventionnel est le stockage d'informations importantes sur l'ensemble du processus d'édification avec tous ses composants (Goedert and Meadati, 2008). Ces informations comprendront des éléments tels que les spécifications des matériaux (poids, couleur, taille, résistance au feu, etc.), les instructions d'installation et de montage, les services de garantie du produit, les exigences d'entretien et de réparation, les informations sur le coût des composants. En d'autres termes, le BIM est un modèle CAD qui est

connecté à une base de données, de sorte que toutes les informations relatives au projet peuvent y être stockées (Nagy et al., 2015). Par conséquent, le BIM agit comme une source commune d'informations entre l'équipe de conception et l'équipe d'exécution du bâtiment. La finalité visée de cette intégration de l'information est d'augmenter la coordination, de réduire les erreurs et le gaspillage, et enfin d'augmenter la qualité et l'efficacité du travail (Hardin and McCool, 2015).

En plus de créer une communication intelligente entre les différents composants, le BIM permet à toutes les équipes de revoir virtuellement différents scénarios de conception (Alizadehsalehi et al., 2020). Par exemple, pour l'équipe de conception architecturale, l'un des scénarios consiste à faire pivoter le modèle de bâtiment simulé pour obtenir des informations, calculer et vérifier la quantité d'énergie consommée en fonction des différents angles d'ensoleillement. De plus, par exemple, en apportant des modifications au modèle structurel, l'équipe de conception structurelle peut observer ses effets sur la conception architecturale, les installations électriques et mécaniques, et prendre les bonnes décisions concernant les modifications (Abbas et al., 2016).

Pour de nombreuses personnes, il est difficile de visualiser l'état final du projet à partir des dessins 2D et des spécifications fournies (Kymmell, 2008). Par conséquent, en plus de montrer le projet achevé sous une forme virtuelle, le modèle BIM 3D a également la capacité d'échanger un éventail d'informations sur les matériaux, les systèmes et les équipements utilisés dans son édification (Pan and Zhang, 2022). D'autre part, le BIM permet aux équipes de projet de simuler différents scénarios de conception ou d'édification et d'analyser différentes options en conséquence. De plus, grâce à la possibilité de connecter le BIM aux capacités technologiques des lunettes de cinéma 3D, la visualisation du projet est considérablement améliorée, et il est possible d'en avoir une compréhension plus réaliste par un mouvement virtuel à l'intérieur de l'espace du bâtiment.



**Figure 4 - Vue tridimensionnelle d'un bâtiment**

Source: (Murugavel et al., 1996)

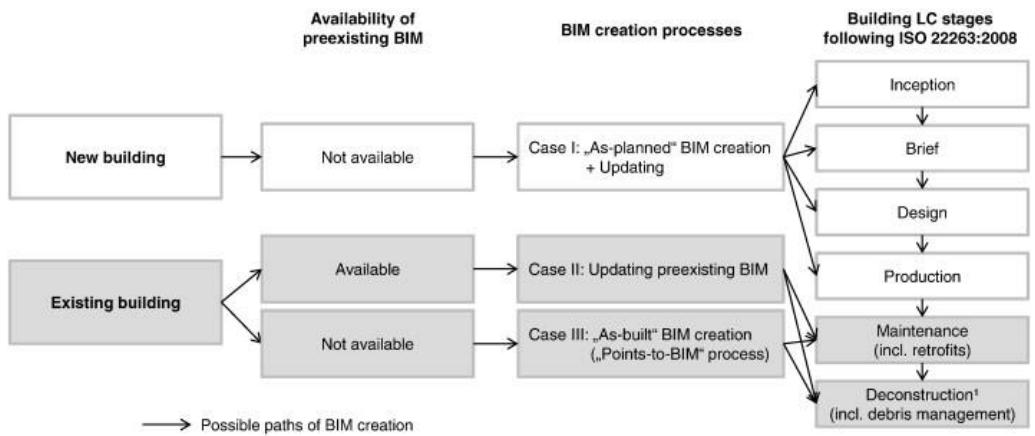
Bien que les architectes et les ingénieurs de conception soient reconnus comme les principaux utilisateurs du BIM, il faut reconnaître que les entrepreneurs sont également des utilisateurs fréquents de cet outil. Le BIM donne aux maîtres entrepreneurs en bâtiment la possibilité de planifier leurs méthodes et outils avant de démarrer l'édification (Hardin and McCool, 2015). Toute l'équipe de direction, y compris l'entrepreneur principal, les sous-traitants et les constructeurs, peuvent pratiquer la séquence d'exécution, gérer le site du projet et déterminer les emplacements d'installation des ascenseurs, des grues, des échafaudages et des chantiers d'édification. En utilisant les installations de simulation virtuelle du processus d'édification, ils peuvent déposer les matériaux d'édification et mieux coordonner les activités et évaluer les effets logistiques et financiers de leurs décisions avant de commencer l'exécution du projet. Cette capacité révélera d'éventuels problèmes dans le temps, qui, s'ils sont découverts tardivement, peuvent sérieusement compliquer le processus d'exécution (Pan and Zhang, 2022). Après avoir découvert les problèmes d'exécution, l'entrepreneur en discutera avec le concepteur pour modifier le plan. Cet examen des travaux, d'autre part, peut conduire à

l'approbation de normes de qualité ainsi qu'à la diminution du temps et du coût de l'édification du projet.

En utilisant du BIM, il y a beaucoup d'avantages pour les entrepreneurs qui seront prêts à convertir les plans en BIM à leurs propres coûts, même si les concepteurs utilisent des dessins CAD 2D. Même si le concepteur livre un modèle BIM à l'entrepreneur au début du projet, il sera toujours justifié que l'entrepreneur fasse une copie séparée du modèle pour lui-même, parce que le modèle qui est préparé par le concepteur insiste plutôt sur le processus de la conception, tandis que le besoin d'un entrepreneur est un modèle exécutif qui accentue sur le processus d'édification.

La technologie BIM, en estimant le temps et le coût d'édification, crée un modèle 3D qui contrôle les cotes de consommation d'énergie d'un façon informatisée et précise, améliore la consommation d'énergie et simplifie la gestion des ressources. De plus, la technologie BIM peut être utilisée pour visualiser le projet, analyser les problèmes de sécurité, le protéger et le maintenir (Denzer and Hedges, 2008).

BIM est une technologie utilisée pour les différents types des bâtiments tout au long de la durée de vie du bâtiment. L'image ci-dessous montre l'utilisation du BIM dans différents bâtiments (Abbas et al., 2016). Comme on peut le voir, le BIM peut être utilisé pour des bâtiments qui ont été conçus, mais qui n'ont pas encore été mis en œuvre (Cas I). Il peut également être utilisé pour les bâtiments qui ont été mis en œuvre et sont dans leur durée de vie utile, ce qui entraînera une consommation d'énergie optimale dans le bâtiment et réduira les coûts (Cas II). De plus, la technologie BIM peut être utilisée pour les bâtiments qui ont atteint la fin de leur vie utile et doivent être démolis (Cas III). Pour le premier cas, le BIM est utilisé jusqu'à la fin de l'édification du bâtiment. Pour le second cas, le BIM est efficace dans la maintenance, la réparation et l'amélioration des bâtiments. Pour le troisième cas, le BIM est efficace dans la gestion de la démolition des bâtiments (Ghosh et al., 2015).



**Figure 5 - BIM Processus de création**

Source: (Ciotta et al., 2021)

Il existe deux méthodes principales pour utiliser la technologie BIM :

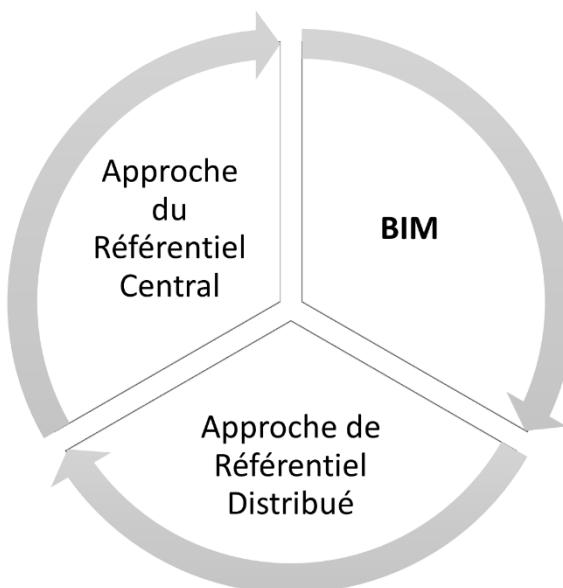
1. Approche du référentiel central (Central Repository Approach)
2. Approche de référentiel distribué (Distributed Repository Approach)

Dans la méthode du référentiel central, on suppose que toutes les informations du projet sont stockées dans un seul fichier de base de données. Par exemple, toutes les informations de planification et d'estimation financière du projet seront ajoutées à ses informations de modèle 3D. Cette méthode n'est pas très raisonnable et pratique parce que le type d'informations requises par le concepteur est différent de l'entrepreneur (Boton et al., 2017). Alors que le concepteur est impliqué dans des questions telles que la vérification de l'utilisation énergétique du bâtiment, l'application de la réglementation et la conception des espaces, l'entrepreneur s'intéresse à la planification des travaux et à l'estimation des coûts. Par conséquent, pour que le travail d'estimation commence, le travail du concepteur doit être terminé. Ce n'est pas pratique, du moins dans les premières étapes du travail (Yalcinkaya and Ardit, 2013).

La méthode de référentiel distribué est la méthode utilisée par la plupart des concepteurs et des entrepreneurs. Dans cette méthode, le modèle BIM a accès à un ensemble de bases de données distinctes, créées par des programmes indépendants.

Par exemple, toutes les informations nécessaires à l'estimation financière du projet se trouvent dans le programme indépendant correspondant. Pour effectuer son travail, ce programme a besoin d'une communication bidirectionnelle avec le modèle BIM 3D pour échanger les informations nécessaires. Ce travail est possible dans les premières étapes de la conception (Al-Saggaf and Jrade, 2015).

Ainsi, malgré l'utilisation de sources de données indépendantes, grâce à une propriété appelée Interopérabilité, toutes les informations des différentes équipes impliquées dans le projet sont intégrées (Machado and Vilela, 2020). De cette façon, les équipes de conception, comprenant l'architecture, la structure, les installations électriques et les installations mécaniques, ont préparé leurs modèles séparément dans des logiciels tels qu'Autodesk Revit, et enfin à l'aide de logiciels telles qu'Autodesk Navisworks, ils ont été superposés, jusqu'à la création du modèle BIM intégré.



**Figure 6 - Types de méthodes d'application BIM**

Source: (Miettinen and Paavola, 2014)

## 1.2 PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE : L'IMPACT DE LA REPRISE SUR LES PROJETS DE CONSTRUCTION : ENQUÊTE SUR L'EFFICACITÉ DU BIM

L'optimisation du temps et des coûts revêt une importance primordiale dans la détermination du succès d'un projet d'édification. La gestion de la construction repose essentiellement sur les documents contractuels, notamment les plans et les devis, qui sont des éléments clés dans la coordination des activités impliquées. Traditionnellement, les plans d'exécution sont élaborés indépendamment par les différents groupes de conception, mais en coordination les uns avec les autres. Cependant, ces plans sont généralement en deux dimensions, et même les modèles de conception assistée par ordinateur (CAD) en trois dimensions ne sont pas en mesure d'identifier automatiquement les erreurs et de les corriger en fonction du contexte réel du chantier.

Les conséquences de ces problèmes peuvent se manifester lors de la phase d'exécution du projet et entraver la progression de l'entrepreneur. Les lacunes dans la coordination des plans et les erreurs de conception nécessitant des retouches et les modifications demandées par l'employeur en cours d'exécution peuvent engendrer des coûts supplémentaires, des ajustements complexes et des dépassements budgétaires, impactant ainsi la qualité globale du travail accompli.

Les impacts directs du besoin de retravailler dans le contexte de la gestion de projet sont multiples et englobent plusieurs aspects. Premièrement, cela engendre un temps supplémentaire consacré à la reprise du travail déjà accompli, ce qui peut entraîner des retards dans l'exécution des tâches prévues. Deuxièmement, cela génère des coûts supplémentaires pour couvrir les événements de reprise, tels que l'acquisition de nouveaux matériaux et le transport des déchets découlant de la correction des erreurs. En outre, cela peut nécessiter l'affectation de ressources humaines supplémentaires pour effectuer la reprise des tâches et exiger des extensions nécessaires, ainsi qu'une supervision renforcée de ces activités.

Les conséquences inhérentes à la nécessité de retravailler dans le contexte de la gestion de projet, notamment la perte de capital, la perte de temps et la baisse du

moral des employés, ont un effet néfaste considérable sur la coordination et la productivité du projet. Il est raisonnable d'envisager que la minimisation du retravail présente des avantages tant pour l'entrepreneur, qui peut espérer une augmentation potentielle des marges bénéficiaires, que pour le propriétaire du projet, qui bénéficie d'une livraison plus rapide et efficiente. En effet, en évitant les retouches, les ressources sont optimisées et les erreurs sont corrigées de manière proactive, ce qui réduit les coûts de correction ultérieure et permet d'atteindre les objectifs du projet de manière plus efficace. De plus, la satisfaction des employés est préservée, favorisant un environnement de travail positif et une meilleure collaboration entre les parties prenantes du projet.

Avec l'évolution croissante de la complexité des projets et les demandes croissantes des propriétaires en termes de rapidité de livraison et de productivité accrue, les entrepreneurs sont confrontés au défi d'adopter de nouvelles approches pour gérer efficacement ces projets. BIM (BIM), également connue sous le nom de modélisation multidimensionnelle ou de technologie de prototypage virtuel, a émergé comme un développement révolutionnaire qui a considérablement accéléré la transformation de l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (AEC). Cette approche novatrice permet aux professionnels du secteur de visualiser et de modéliser les différentes facettes d'un projet de construction de manière intégrée, offrant ainsi de nombreux avantages en termes d'efficacité, de coordination et de collaboration entre les parties prenantes du projet. En adoptant le BIM comme outil de gestion de projet, les entrepreneurs peuvent mieux anticiper et résoudre les défis potentiels, optimiser les ressources, améliorer la communication et réduire les erreurs et les retouches, ce qui contribue à une exécution plus rapide et plus efficace des projets de construction complexes.

Bien que les origines du BIM remontent à la recherche sur la modélisation paramétrique menée aux États-Unis et en Europe à la fin des années 1970 et au début des années 1980, son adoption dans l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (AEC) n'a réellement commencé qu'au milieu des années 2000. Malgré son développement généralisé dans de nombreux pays, le BIM reste encore sous-

utilisé dans certaines régions, ce qui peut expliquer le manque de recherche approfondie dans ce domaine.

### 1.3 PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE : FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS ET DE L'AMÉLIORATION DE L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION GRÂCE AUX NOUVELLES TECHNOLOGIES

L'optimisation du temps et des coûts dans la gestion de projet est essentielle pour éviter les pertes de temps et de ressources. La planification et la programmation préalables sont des méthodes courantes pour atteindre cet objectif. Cependant, les méthodes conventionnelles de planification et de contrôle des projets sont souvent limitées dans leur efficacité pour réduire les pertes de temps pendant l'exécution des projets.

L'utilisation de modèles de données d'immeubles (BIM) pour la planification et le contrôle des projets d'édification apparaît comme une méthode prometteuse pour améliorer la gestion de projet. Les limites des méthodes conventionnelles de planification et d'ordonnancement de projet sont mises en évidence dans cette recherche, mettant en contraste les avantages de la planification et de l'ordonnancement de projet basés sur BIM. Cette approche permet de surmonter les faiblesses et les lacunes des méthodes conventionnelles, offrant ainsi des opportunités d'optimisation des projets d'édification.

L'absence d'études approfondies sur les plates-formes nécessaires à l'utilisation du BIM dans le secteur de la construction pour gérer les modifications et les retouches liées au temps et au coût a été mise en évidence par les enquêtes réalisées. Dans le cadre de cette recherche, une analyse de l'état des projets menés par les entreprises contractantes a été entreprise dans le but d'identifier l'ampleur des écarts par rapport aux estimations initiales de temps et de coût, attribuables aux modifications et aux retouches. De plus, cette étude cherche à approfondir la compréhension des facteurs liés à l'entrepreneur qui contribuent à la présence de ces écarts. En outre, en examinant les différents domaines d'application du BIM dans la gestion des projets de construction, il est essentiel d'examiner les exigences et les plates-formes nécessaires

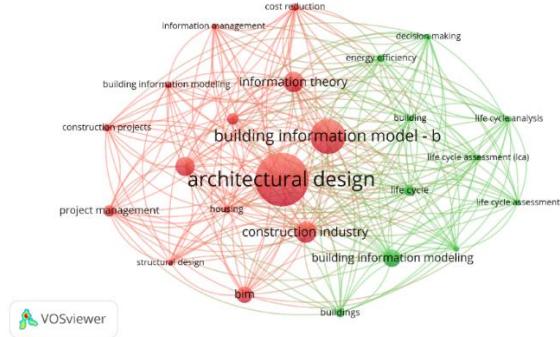
à son utilisation au sein des entreprises contractantes, afin de mieux gérer les modifications et les retouches, et ainsi prévenir les écarts indésirables en termes de temps et de coût.

#### 1.4 LOCALISATION DE LA RECHERCHE

Au cours de cette étude, une analyse approfondie de la littérature existante relative à la Modélisation de l'Information du Bâtiment (BIM) a été rigoureusement menée. Cette analyse a englobé l'exploration de ses avantages, de ses inconvénients, de ses domaines d'application, ainsi que des plates-formes requises pour sa mise en œuvre. De plus, une investigation méticuleuse des effets potentiels du BIM sur l'optimisation de la planification des projets et la gestion des coûts au sein de l'industrie de la construction a été effectuée.

Afin de faciliter cette étude, l'utilisation d'outils de recherche renommés et de méthodologies appropriées a été faite, notamment Scopus, une base de données bibliographique de grande réputation. Scopus a joué un rôle déterminant dans l'identification et l'agrégation d'articles et de matériaux savants pertinents concernant le BIM. Par la suite, VOSviewer, un logiciel d'analyse bibliométrique, a été employé pour élaborer des cartes bibliométriques, permettant ainsi la visualisation et l'analyse des interrelations entre les éléments bibliographiques. Grâce à cette analyse, des tendances de recherche cruciales, des réseaux de collaboration entre chercheurs, des concepts thématiques clés et des lacunes de recherche ont été mis en lumière.

Cette approche méthodologique s'est avérée déterminante pour fournir des connaissances précieuses sur l'état actuel de la recherche dans le domaine du BIM, tout en offrant une base pour formuler des recommandations et des perspectives de recherche futures dans ce domaine en constante évolution.



**Figure 7 - Recherches sur le thème de la BIM et la gestion de projet au fil des ans**

Mot-clé : *La modélisation des informations du bâtiment (BIM)*

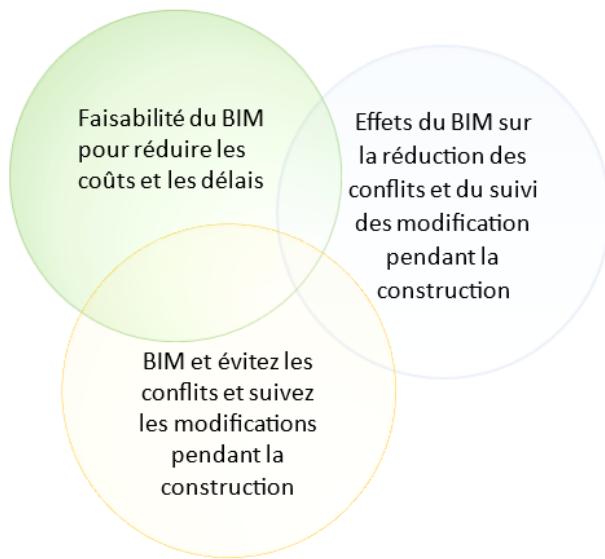
Réalisé avec : VOSviewer

Par la suite, un questionnaire a été élaboré et distribué auprès d'experts du secteur de la construction afin de collecter des données sur l'utilisation actuelle du BIM par les entreprises contractantes. Ce questionnaire a été conçu pour évaluer les écarts de temps et de coûts causés par les modifications et les retouches pendant l'exécution des projets, ainsi que la disponibilité des plates-formes nécessaires à l'utilisation du BIM.

Cette recherche a pour objectif d'explorer en profondeur le rôle et la mise en œuvre de la Modélisation des Informations du Bâtiment (BIM) au sein de l'industrie de la construction. Les objectifs spécifiques de cette étude sont multiples. Tout d'abord, elle vise à examiner comment le BIM contribue à améliorer l'efficacité globale et la productivité des projets de construction. Deuxièmement, l'étude examinera l'impact du BIM sur la gestion des coûts, y compris l'estimation des coûts, le contrôle des coûts et leur réduction, ainsi que son influence sur la planification des projets et la gestion du temps. De plus, cette recherche analysera les avantages et les défis rencontrés par divers acteurs de l'industrie de la construction, tels que les architectes, les entrepreneurs et les propriétaires de projets, dans le cadre de l'adoption du BIM.

De plus, l'étude se concentrera sur le rôle du BIM dans la promotion de la collaboration et de la communication au sein des équipes de projet. Les implications légales et contractuelles de la mise en œuvre du BIM seront analysées. En évaluant

l'état actuel de l'adoption et de la mise en place du BIM, la recherche vise à identifier les domaines nécessitant des améliorations. En fin de compte, cette thèse fournira des recommandations et des meilleures pratiques pour optimiser l'utilisation du BIM dans les projets de construction, tout en offrant des perspectives sur les tendances futures et les développements potentiels du BIM dans l'industrie de la construction.



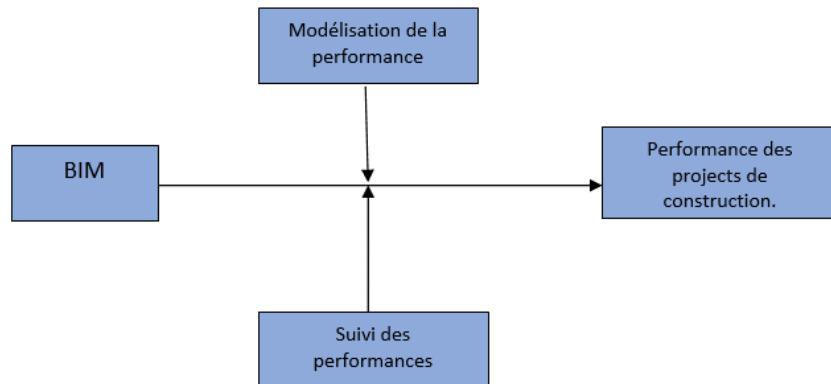
**Figure 8 - Localisation de la recherche dans les cadres de références théoriques**

En conclusion, on formule l'espoir que cette étude apportera une contribution substantielle à la compréhension de l'adoption du BIM au sein de l'industrie de l'édition. Les résultats obtenus fourniront ainsi des informations pertinentes pour les entreprises de construction dans leur processus décisionnel en matière d'adoption de cette technologie émergente.

### 1.5 OBJECTIFS ET QUESTIONS DE RECHERCHE

La modélisation des performances du bâtiment au moyen de la technologie BIM est une approche sophistiquée qui implique l'utilisation de logiciels de modélisation 3D pour créer un modèle numérique détaillé intégrant des informations clés, telles que la conception, la structure, les systèmes énergétiques, la qualité de l'air intérieur, la

gestion de l'eau, et d'autres paramètres pertinents. Ce modèle permet de réaliser des analyses approfondies et d'évaluer de manière précise les performances du bâtiment dans ces différents domaines. La fonction de modélisation des performances collecte et traite avec rigueur les données nécessaires, telles que les données sur les matériaux de construction, l'orientation du bâtiment, ainsi que les exigences réglementaires, afin de les intégrer de manière systématique dans le modèle BIM. Il permet également une planification et une gestion plus précises des ressources, ainsi qu'un suivi de l'avancement du projet. Grâce à une plate-forme numérique partagée, les parties prenantes peuvent accéder et échanger des informations, réduisant ainsi les erreurs et les redondances dans la conception et la construction du projet.



**Figure 9 - Cadre conceptuel préliminaire**

Dans le cadre de cette étude, une première phase exploratoire a été entreprise dans le but d'analyser les plateformes essentielles à l'exécution du BIM au sein des entreprises contractantes, dans le but de gérer de manière optimale les coûts et les délais associés aux modifications et aux révisions dans les projets d'édification. Cette approche repose sur l'utilisation des principaux cadres conceptuels nécessaires pour atteindre nos objectifs spécifiques de recherche.

### Les objectifs de la recherche

- Élucider les causes et les facteurs qui entraînent des modifications et des révisions dans les projets d'édification.
- Évaluer les méthodologies de gestion des changements utilisant le BIM.

- Analyser les exigences techniques pour l'utilisation du BIM au sein des entreprises contractantes dans le domaine de la construction.
- Déterminer les domaines clés nécessaires à l'utilisation du BIM dans les entreprises de maîtrise d'ouvrage en examinant l'état actuel de l'utilisation du BIM dans ces entreprises.

### **Les questions de la recherche**

En vue de cette étude, plusieurs questions de recherche se posent afin d'atteindre les objectifs spécifiques énoncés :

**Tableau 1 - Objectifs et questions de recherches**

<b>Objectifs de recherche</b>	<b>Questions de recherche</b>
<b>O1.</b> Élucider les causes et les facteurs qui entraînent des modifications et des révisions dans les projets de construction.	<b>QR1.</b> Quels sont les facteurs les plus importants causant des retards et des reprises dans les projets de construction ?
<b>O2.</b> Évaluer les méthodologies pour la gestion des changements au moyen de l'utilisation du BIM.	<b>QR2.</b> Comment gérer les changements avec le BIM ?
<b>O3.</b> Analyser les exigences techniques pour l'utilisation du BIM dans les entreprises contractantes de construction.	<b>QR3.</b> Quelles sont les exigences pour utiliser le BIM dans les entreprises de construction ?
<b>O4.</b> Déterminer les domaines clés nécessaires à l'utilisation du BIM dans les entreprises de maîtrise d'ouvrage en examinant l'état actuel de l'utilisation du BIM dans ces entreprises.	<b>QR4.</b> Quelle est la situation des entreprises de construction dans l'utilisation de la technologie BIM dans la gestion de projet et quelles sont les bases nécessaires à l'utilisation du BIM dans les entreprises de construction ?
<b>O5.</b> Étudier l'importance et l'incidence du BIM sur la réalisation des objectifs de développement durable en matière de conception.	<b>QR5.</b> Comment la mise en œuvre du BIM impacte-t-elle l'atteinte des objectifs de développement durable dans la phase de conception des projets de construction ?

### **Les hypothèses de la recherche**

- La définition des conditions préalables et des plates-formes nécessaires à l'application du système BIM dans la gestion de projets d'infrastructures civiles permet de minimiser les modifications et les erreurs dans ces projets.
- L'utilisation du système BIM dans un projet offre un environnement de travail sécurisé avec moins d'erreurs, de retouches et de déchets, ce qui entraîne une augmentation du profit et une réduction des coûts.

Cette étude vise à approfondir notre compréhension des enjeux liés à l'utilisation du BIM dans la gestion de projets d'édification dans le secteur de la construction. En se basant sur différentes hypothèses de recherche, elle cherche à identifier les meilleures pratiques et les exigences clés pour une utilisation efficace du BIM dans les entreprises contractantes du domaine de la construction, en offrant une perspective académique et originale sur le sujet.

### 1.6 PÉRIMÈTRE DE LA RECHERCHE

L'objectif prééminent de notre recherche consiste à réaliser une analyse approfondie des prérequis et des bases indispensables pour intégrer de manière efficace le BIM dans la gestion des projets de construction civile. Plus particulièrement, cette étude vise à examiner en détail l'impact potentiel de l'adoption du BIM sur divers aspects clés de la gestion de projet, notamment la réduction des coûts et des délais.

Pour atteindre ces objectifs, cette étude utilisera une approche de recherche mixte, combinant des méthodes quantitatives et qualitatives pour collecter et analyser les données. La méthode quantitative consistera en une enquête visant à mesurer le niveau d'adoption du BIM et ses effets sur les résultats des projets. La méthode qualitative impliquera des entretiens et des études de cas de projets sélectionnés afin d'obtenir une compréhension approfondie des enjeux pratiques, des défis et des avantages liés à l'intégration du BIM.

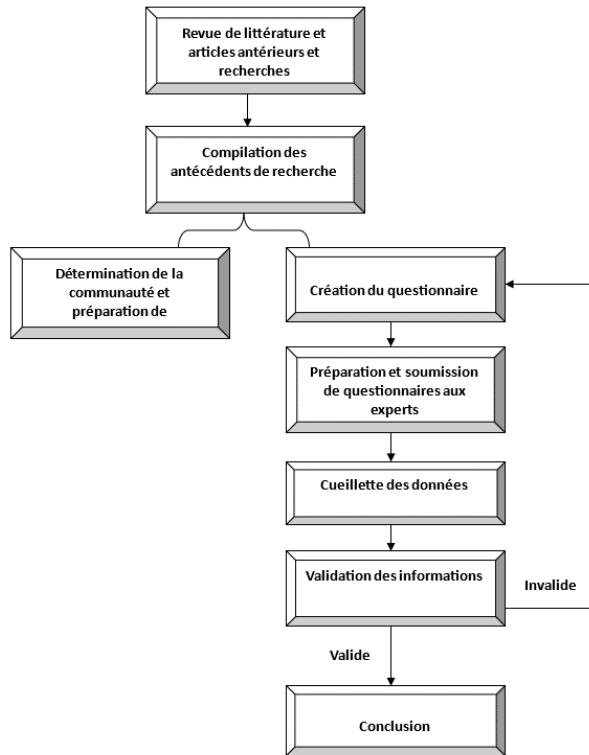
La population de recherche sera constituée d'acteurs de l'industrie de l'édification, tels que les gestionnaires de projets, les architectes, les ingénieurs, les entrepreneurs, ainsi que d'autres parties prenantes impliquées dans la conception, la construction et l'entretien des bâtiments. La méthode d'échantillonnage sera basée sur une approche raisonnée, dans laquelle des individus et des organisations possédant une expérience solide dans l'implémentation du BIM seront sélectionnés.

L'analyse des données collectées dans cette étude sera effectuée en utilisant des méthodes statistiques rigoureuses, telles que l'analyse de régression, la corrélation et la comparaison des moyennes, pour obtenir des résultats quantitatifs robustes. Les données qualitatives seront soumises à une analyse de contenu approfondie,

permettant d'identifier les thèmes et les motifs émergents à partir des informations qualitatives recueillies. Les résultats de cette analyse seront présentés de manière méthodique, en utilisant des tableaux, des graphiques et des diagrammes clairs et précis, afin de faciliter la compréhension des résultats par les lecteurs académiques. De plus, une comparaison approfondie avec la littérature scientifique pertinente sera effectuée, afin de positionner les conclusions de cette étude dans le contexte académique existant et d'apporter une compréhension unique de l'impact du BIM sur l'industrie de l'édification.

En conclusion, cette étude de recherche vise à apporter une contribution significative à la compréhension de l'exécution du BIM en fournissant un aperçu approfondi de ses avantages, défis et implications pratiques dans l'industrie de l'édification.

Les conclusions de cette étude peuvent ainsi servir de référence pour orienter les décisions stratégiques des professionnels de l'industrie, en éclairant leurs choix et en les guidant vers une utilisation optimale du BIM dans leurs projets d'édification. En outre, cette recherche peut également contribuer à l'enrichissement du corpus existant de connaissances académiques sur le BIM, en offrant une perspective unique sur ses implications pratiques, ses enjeux et ses bénéfices dans le contexte spécifique de l'industrie de l'édification.



**Figure 10 - Organigramme des étapes du processus de recherche**

## CHAPITRE 2 : CONTEXTE THÉORIQUE

### 2.1 INTRODUCTION

L'industrie de l'édification est largement touchée par de nombreux problèmes tels que les dépassements de coût et de délais ainsi que la mauvaise qualité des travaux qui est due à divers problèmes qui surviennent au cours des étapes du projet (Hergunsel, 2011). Ces problèmes affectent non seulement le projet, mais également les ministères compromis dans le projet tels que les architectes, les ingénieurs en structure, électricités et mécaniques, les entrepreneurs, les employeurs, les clients et les parties prenantes sous la forme d'une productivité réduite, d'un manque de confiance et même de poursuites (Barison and Santos, 2010).

La gestion de l'édification et le contrôle du projet comportent de nombreuses facettes : l'utilisation optimale des fonds disponibles, le contrôle de la portée des travaux, la planification efficace du projet, la prévention des retards, des modifications, des litiges, l'amélioration de la qualité de la conception et de l'édification, la flexibilité dans l'approvisionnement et l'exécution du projet. L'information a une très grande valeur pour la gestion et le contrôle de projet. Les responsabilités les plus importantes du gestionnaire dans les projets d'édification sont les suivantes :

1. Croissance de la productivité, de l'efficacité, de la valeur, de l'excellence et de la pérennité de l'organisation.
2. Réduction des coûts du cycle de vie et du temps passé grâce à une collaboration et des relations accrues entre les parties prenantes. Traditionnellement, les responsables de l'édification accèdent aux informations nécessaires pour coordonner les processus d'édification par le biais de réunions périodiques, de cartes, de rapports et d'horaires de travail. La préparation et la présentation des informations dans ce style prennent du temps et implique des facteurs humains.

Il convient de noter que les méthodes traditionnelles ne sont pas efficaces pour le suivi des projets d'édification complexes (Clevenger et al., 2010).

Le développement des technologies de l'information et de la communication (ICT) permet à la direction de l'édification d'accéder à des informations plus précises et à jour, ce qui permet un suivi plus efficace des processus d'édification. Les systèmes d'information et de communication d'aujourd'hui incluent toutes les disciplines liées au projet et sont utilisés pour décrire et documenter la participation des membres de l'équipe de projet. À cet égard, le système de technologie de l'information et de la communication le plus courant dans l'industrie de l'édification est BIM (Anand et al., 2017).

Il existe une divergence d'opinions parmi les chercheurs quant à savoir si la technologie BIM est un outil ou un processus. Alors que certains d'entre eux, comme Suermann et Issa, l'appellent un outil (Suermann and Issa, 2009) d'autres, comme Eastman, l'appellent un processus (Eastman, 2011).

Dans une autre approche, Yalcinkaya et ses collègues déclarent que le modèle d'information sur le bâtiment n'est pas simplement une représentation virtuelle du bâtiment, il s'agit plutôt d'une très grande base de données, qui comprend des ensembles d'informations importantes qui sont utilisées pour effectuer les procédures de base de la gestion de l'édification et du contrôle du projet, tel que l'estimation, la planification, les ordres de modification, etc. Par conséquent, le concepteur peut utiliser la technologie de BIM comme simulateur d'un projet réel, avant de mettre en œuvre l'édification du projet (Yalcinkaya and Ardit, 2013).

Dans ce chapitre, les capacités du BIM dans l'exécution des domaines de connaissances en gestion de projet seront présentées. Il passera en revue la littérature sur le sujet, des cas pratiques qui ont été utilisés jusqu'à présent, à partir des installations BIM dans l'exécution de ces domaines. Finalement, les opportunités et les défis de l'utilisation de cet outil dans l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de l'édification seront présentés.



**Figure 11 - BIM : Outil et Processus basé sur une Grande Base de Données**

Source : (Preidel et al., 2017)

### 2.1.1 Le concept de BIM

Le concept de BIM consiste principalement à créer une forme numérique tridimensionnelle d'un bâtiment et à exprimer ses caractéristiques inhérentes (Liu et al., 2019). BIM est le processus virtuel et la performance de la conception et de l'édification d'un projet tout au long de son cycle de vie. Toutes les activités de gestion d'édification et de contrôle de projet basées sur des documents et des contrats sont dépendantes des deux catégories de cartes et de spécifications, de sorte que dans ces activités, la quantité de travail est définie à l'aide de cartes et sa qualité est définie à l'aide de spécifications techniques. Les figures suivantes montrent l'algorithme des documents de contrat d'édification dans un projet d'édification (Hartmann et al., 2012).

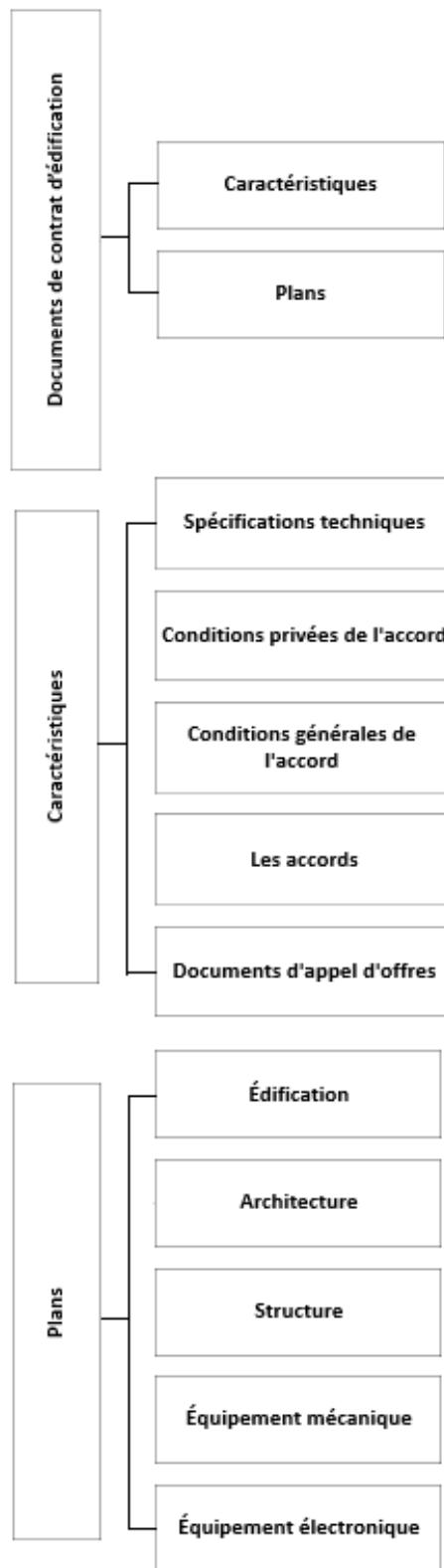


Figure 12 - Algorithme des documents de contrat d'édification

Source : (Cheng et al., 2015)

Toutes les activités de gestion de la construction, basées sur les documents contractuels, dépendent des deux catégories de cartes et de spécifications, de sorte qu'à l'aide de cartes, la quantité de travail est définie et sa qualité est définie sur la base de spécifications techniques.

En effet, les critères d'évaluation de la performance des entrepreneurs sont déterminés en fonction de ces deux catégories (Cheaitou et al., 2019). Sachant que dans les méthodes conventionnelles de gestion d'édification et de contrôle de projet, d'une part, les plans et devis sont présentés séparément et d'autre part, les plans exécutifs des différents groupes de conception sont préparés séparément, mais en coordination les uns avec les autres. Il peut y avoir de nombreux problèmes à toutes les étapes du projet qui concernent les équipes impliquées dans le projet. Les problèmes de ces méthodes conventionnelles sont évidents pour tout le monde, et peut-être certains des pires d'entre eux sont le manque de coordination, les erreurs et les retouches dans le projet, qui, en plus d'augmenter le coût d'édification, conduiront finalement à une diminution de la qualité de travail (Moon et al., 2012).

Le domaine du contrôle de projet et de la gestion de l'édification s'est développé récemment, l'un des aspects de ce développement est l'introduction de la technologie de BIM. En général, la technologie BIM ajoute des composants de modélisation tridimensionnelle avec des caractéristiques spéciales aux cartes bidimensionnelles et à leurs spécifications associées. Cette caractéristique spéciale est que, en plus d'avoir sa nature physique tridimensionnelle, chaque élément représenté dans le BIM porte en lui un ensemble d'informations liées à diverses activités et tâches de gestion de l'édification et de contrôle de projet (Vass and Gustavsson, 2017). Ces informations, liées à l'ensemble de la durée de vie du projet qui couvre les étapes initiales jusqu'à sa fin, incluent les éléments suivants :

- Études explicatives à la conception
- Première et deuxième études
- Logistique

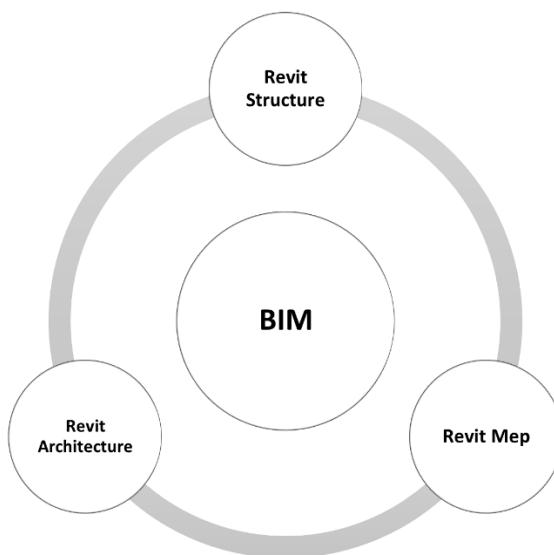
- Édification et installation
- Mise en place
- Période d'exploitation
- Fin du projet

Par conséquent, si l'on souhaite résumer la technologie BIM en une courte phrase, ce sera :

« Le processus de production et de gestion des données d'immeubles au cours de son cycle de vie » (Colombert et al., 2011)

### **2.1.2 Le logiciel de BIM**

Le logiciel Revit est l'un des logiciels les plus importants disponibles dans le domaine de BIM. Ce logiciel comprend un logiciel de conception structurelle (Revit Structure), un logiciel de conception d'architecture (Revit Architecture) et un logiciel de conception d'installations (Revit Mep). La différence entre ces logiciels et les logiciels de cartographie est que ces logiciels sont davantage considérés comme une source d'information que comme une conception graphique (Woo, 2006).



**Figure 13 - Logiciels BIM**

Source : (Kensek, 2014)

Certains des logiciels pouvant être utilisés pour BIM sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ces logiciels sont capables de couvrir le cycle de vie d'un bâtiment depuis la conception, pendant l'édification et en support à la maintenance. Dans ce tableau, le nom du logiciel, la société de fabrication et son application principale sont donnés (Hardin and McCool, 2015).

**Tableau 2 - Logiciels de BIM**

Source: (Martins et al., 2022)

NOM DU LOGICIEL	FABRICANT	APPLICATION PRINCIPALE
Revit Structure	Autodesk	Conception paramétrique et modélisation 3D du plan de structure
Revit Architecture	Autodesk	Conception paramétrique et modélisation 3D de la conception architecturale
Revit MEP	Autodesk	Modélisation des détails électriques, mécaniques et d'installation
AutoCAD MEP	Autodesk	Modélisation des détails électriques, mécaniques et d'installation
AutoCAD civil 3D	Autodesk	Développement du site de l'atelier
Bentley BIM Suite	Bentley Systems	Modélisation architecture, structure, électricité, mécanique et pièces de production
Cadpipe Commercial Pipe	AEC Design Group	Modélisation 3D de la tuyauterie
DProfiler	Beck Technology	Estimation du coût et du temps dans le modèle 3D
Fastrak	CSC (UK)	Conception paramétrique et modélisation 3D du plan de structure
Fabrication for AutoCAD MEP	East Coast CAD/CAM	Modélisation des installations électriques et mécaniques

### 2.1.3 L'application du BIM dans l'exécution de projets d'édification

La méthode la plus courante d'utilisation de la technologie BIM dans les projets d'édification est la méthode à trois facteurs : employeur-consultant-entrepreneur. Dans cette méthode, après la signature du contrat entre l'employeur et le concepteur et en attribuant la phase de conception, l'équipe de conception collecte des données

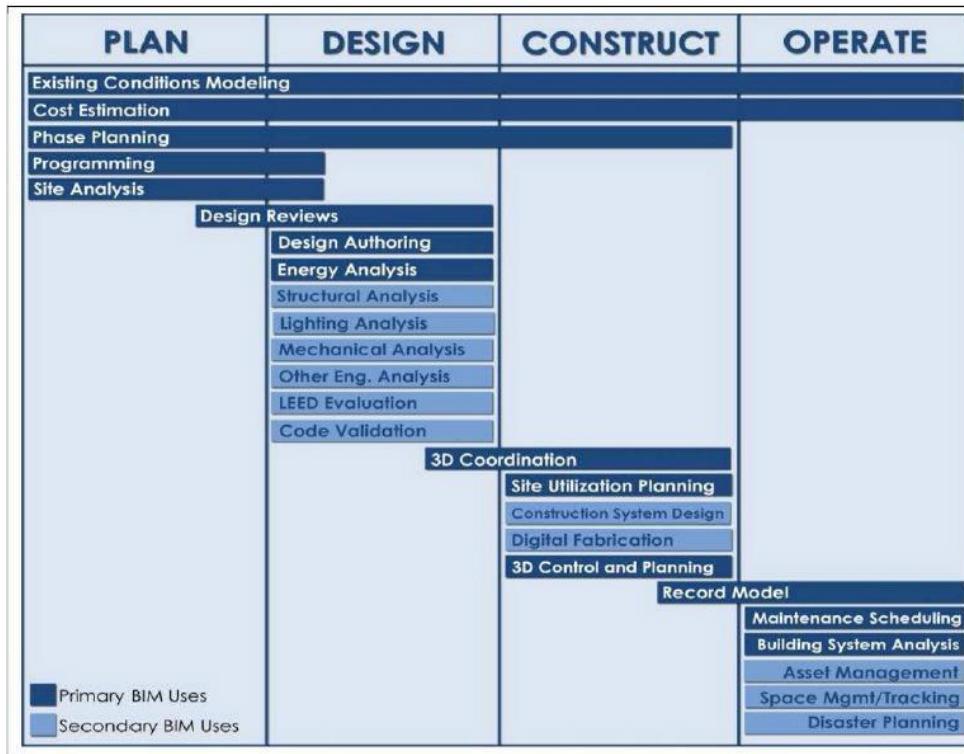
et des informations d'une part et des cartes 2D d'autre part (Underwood and Isikdag, 2011) . Ensuite, en utilisant un logiciel BIM il désigne une maquette virtuelle du bâtiment et établit une connexion entre les données existantes et les cartes. En créant ce modèle virtuel multidimensionnel du bâtiment, l'équipe de conception donne à l'employeur la possibilité de suivre l'ensemble du projet avant son exécution , agir pour régler les problèmes et suivre le projet en cas de défauts et il peut également avoir une estimation précise du coût du projet (Ustinovičius et al., 2018). Après avoir fini la conception et fait les corrections nécessaires, l'employeur fournit à l'entrepreneur son projet, qui comporte des spécifications détaillées et des détails de la réalisation, ainsi que des informations sur les matériaux et les équipements installés. De cette façon, lors de l'exécution de l'opération d'édification, l'entrepreneur dispose d'un plan complet et détaillé du projet, qui peut mettre en œuvre le bâtiment avec tous ses détails (Puolitaival and Forsythe, 2016).

Une autre méthode d'utilisation de la technologie BIM dans les projets d'édification est la méthode à quatre facteurs. Les étapes du projet dans cette méthode sont similaires à la méthode des trois facteurs, à la différence que dans cette méthode, le facteur gestion est ajouté au projet par l'employeur comme quatrième facteur dont la tâche est uniquement de gérer le projet et de transférer l'information nécessaire entre l'employeur et l'entrepreneur (Song et al., 2019).

Les projets à deux facteurs sont d'autres types de projets, dans ce projet les entrepreneurs influencent la conception BIM et l'exécution du bâtiment et son devoir est très lourd. (Karji et al., 2017).

L'un des buts du BIM est d'établir une collaboration augmentée et maximale entre l'entrepreneur, l'employeur, le consultant et les parties prenantes du processus d'édification, ce qui est possible en accumulant les informations relatives à chaque étape de conception (Elmualim and Gilder, 2014). Cette capacité du modèle à servir de référentiel de différentes informations interdépendantes crée une nouvelle approche en combinant l'analyse des performances et la conception (Richards and Clevenger, 2011).

En général, le BIM a 25 applications, qui sont utilisées en 4 étapes qui incluent la planification (Plan), la conception (Design), l'édification (Construct) et l'exploitation (Operate). Ces 25 utilisations peuvent être vues dans l'image ci-dessous (Zandieh et al., 2016).



**Figure 14 - Usages BIM tout au long du cycle de vie d'un bâtiment (organisés par ordre chronologique de la planification à l'exploitation)**

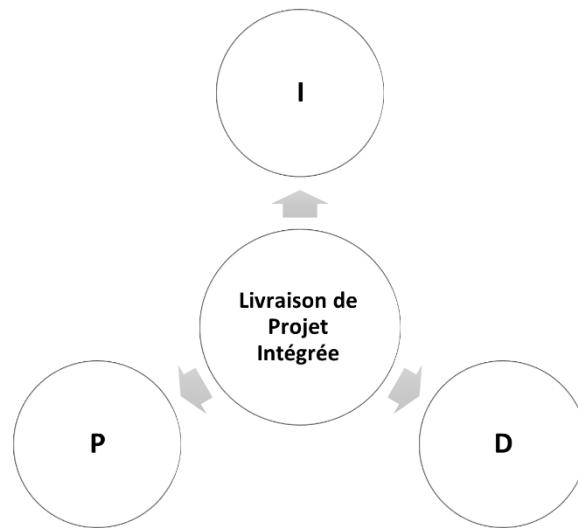
Source : (Zandieh et al., 2016)

#### 2.1.4 Les objectifs de l'utilisation de la technologie BIM à différentes étapes du cycle de vie du projet

##### *Objectifs liés à la période de pré-édification*

- **Idéation, faisabilité et conception préliminaire :** Détermination de la faisabilité de réaliser le projet avec les exigences de performance et de qualité souhaitées et respecter les délais et les coûts avant de commencer la conception est d'une importance considérable. L'existence d'un modèle approximatif du produit final du projet, qui est lié à une base de données des coûts, est d'une valeur considérable pour l'employeur (Lu et al., 2013).

- **Améliorer la performance et la qualité du bâtiment :** Évaluation des différentes options de conception dans les premières étapes du projet, à l'aide d'outils d'analyse et de simulation, suivra la qualité du produit du projet.
- **Accroître la collaboration à l'aide des méthodes d'exécution de la livraison de projet intégrée (IPD) :** En appliquant des méthodes d'exécution intégrées dans les projets et aussi utiliser la technologie BIM pendant le cycle de vie du projet par les équipes de projet on peut avoir des résultats très significatifs. Parmi ces résultats, on peut citer une meilleure compréhension de tous les aspects du projet par les équipes projet, la diminution de la communication papier et des délais induits (Glick and Guggemos, 2009).



**Figure 15 - Livraison de projet intégrée**

Source : (Dupin, 2014)

#### *Objectifs liés à la période de conception*

- **L'aspect visuel définit la conception dans les premières étapes du projet :** En permettant une fonctionnalité BIM pour avoir une communication efficace avec les parties différentes prenantes impliquées dans le projet. Par exemple, l'employeur aura une connaissance plus détaillée des plans proposés. La présentation visuelle du plan à l'aide de la technologie BIM a une précision beaucoup plus élevée que les méthodes traditionnelles (Solnosky et al., 2014).

- **Modification automatique de la conception en cas de modifications :** Si des modifications sont apportées aux spécifications d'un élément dans la conception, en raison de la nature paramétrique des éléments, ces modifications seront étendues aux autres composants liés à cet élément.
- **La possibilité de créer des cartes bidimensionnelles précises à partir du modèle virtuel à n'importe quelle étape de la conception :** L'extraction de cartes à partir d'un modèle BIM réduira considérablement le temps et les erreurs dans la production de cartes pour tous les groupes spécialisés.
- **La possibilité de coopération entre les équipes de conception dès le début de la conception :** Le travail des équipes de conception est plus facile en utilisant la technologie BIM qui introduit à la fois les équipes de conception, de structure, d'architecture, d'installations électriques et d'installations mécaniques. Le modèle BIM par rapport aux méthodes traditionnelles facilite la coopération des équipes de conception qui demande aussi moins de temps. Cette manière réduira les fautes de conception, en l'évaluant avant de terminer et de stabiliser des parties de la conception (Sampaio, 2017).
- **Simplifier le processus pour s'assurer que le régime réponde aux demandes de l'employeur :** Comparativement aux méthodes traditionnelles, cet objectif est plus facile à atteindre, surtout lorsque ces demandes sont exprimées quantitativement (Leffingwell, 2010).
- **Appliquer un meilleur contrôle sur les dépenses pendant la durée de vie du projet :** L'un des objectifs de la technologie BIM est l'estimation des coûts, et avec la maquette virtuelle du projet, l'atteinte de cet objectif est facilitée. Le logiciel BIM extrait automatiquement et avec précision la quantité de matériaux et d'équipements, applique et estime tout changement à différents moments du modèle construit (Wu et al., 2014).
- **Améliorer la qualité de la conception présentée :** En utilisant la technologie BIM, diverses options de conception sont facilement analysées et examinées. Les simulations sont faites rapidement et la performance du bâtiment est

évaluée. En conséquence, la meilleure option de conception et la plus créative est sélectionnée (Asl et al., 2015).

- **Faciliter la conception durable à l'aide du BIM par rapport aux méthodes traditionnelles :** On peut créer une relation entre les outils d'analyse énergétique et la maquette virtuelle du produit du projet avec la possibilité d'évaluer la performance énergétique depuis les premières étapes de la conception(Crawley et al., 2008).
- **Augmenter la vitesse et l'efficacité des processus :** Dans cette structure, les informations sont partagées, modifiées et réutilisées beaucoup plus facilement que les méthodes traditionnelles.

#### *Objectifs liés à la période d'édification*

- **La possibilité d'utiliser le modèle conçu pour automatiser le processus de fabrication et d'assemblage des composants préfabriqués :** L'existence de données numériques de l'ensemble du bâtiment avec des détails complets permet l'automatisation du processus de fabrication et d'assemblage des composants préfabriqués (Crawley et al., 2008).
- **Faciliter les modifications de conception :** Le modèle d'information sur le bâtiment réagit rapidement aux modifications apportées à la conception. Si des modifications sont apportées à la conception, certaines pièces changeront automatiquement en fonction des règles paramétriques du modèle. D'autres effets résultant de changements peuvent être reconnus visuellement et en identifiant les interférences (Sacks et al., 2018).
- **Augmentation de la qualité de l'édification :** Grâce à l'édification complète du modèle virtuel du projet en phase de conception et à la suppression d'un nombre important d'erreurs, d'éléments bloqués et d'interférences, la possibilité d'une édification plus parfaite est créée, et en même temps, le temps, le coût et les réclamations sont réduits (Hardin and McCool, 2015).
- **Accroître la coordination entre la conception et la planification du projet en utilisant la simulation du processus d'édification et en identifiant les éventuels problèmes ou opportunités d'amélioration de la planification.**

- **La possibilité d'une utilisation plus efficace des méthodes de fabrication au plus juste :** Les méthodes de fabrication au plus juste nécessitent une coordination plus fine entre l'entrepreneur général et les sous-traitants pour assurer l'exécution des activités lorsque les ressources sont disponibles dans l'atelier. Par conséquent, les efforts inutiles sont minimisés et le besoin d'inventaire des matériaux et de l'équipement dans l'atelier est réduit (Zhang et al., 2015). En raison des capacités de la technologie BIM à fournir un modèle précis de la conception et des ressources nécessaires pour chaque partie du travail, il est possible d'améliorer la planification et l'ordonnancement du travail des sous-traitants. En raison des capacités de la technologie BIM à fournir un modèle précis de la conception et des ressources nécessaires pour chaque partie du travail, il est possible d'améliorer la planification et l'ordonnancement du travail des sous-entrepreneurs (Sulankivi et al., 2013).
- **Augmenter la coordination entre l'approvisionnement, la conception et l'édification en fournissant des quantités précises.**

#### *Objectifs après la période d'édification*

- Améliorer le processus de lancement et de livraison du projet à l'employeur, ainsi qu'améliorer sa gestion et son fonctionnement.
- Maintenir toutes les données dans le cycle de vie du projet : les informations relatives aux exigences, à la conception, à l'exécution et d'autres informations stockées dans le modèle peuvent être utilisées pendant le cycle de vie du projet (Luth et al., 2014).

#### **2.1.5 Les défis de l'utilisation de la technologie BIM**

- **Propriété légale du modèle :** L'un des principaux défis est de déterminer le propriétaire des données BIM et comment en gérer la copie.

- **Comment empêcher la copie :** Les constructeurs et les fabricants modélisent avec précision leurs informations sur les produits et les fournissent à d'autres, ce qui peut entraîner des abus.
- **Responsabilité et contrôle de la saisie des informations :** La question de savoir qui et avec quel mécanisme peut fournir des informations au modèle BIM est très critique. Parce que l'inexactitude dans la saisie des informations nécessite un long processus de vérification et de correction à nouveau des données (Khanzode et al., 2008).
- **Absence de logiciel à fonctionnalité intégrée :** Pour l'exécution complète du BIM, les logiciels utilisés dans tous les départements de conception, de gestion et d'exécution doivent fonctionner de manière intégrée ; sinon, ils seront produits séparément dans chaque département, et il n'y aura pas de lisibilité et d'analyse pour les autres départements impliqués dans le projet (Clevenger et al., 2010).

Aujourd'hui, aller vers BIM est devenu indispensable en dépit de tous les défis mentionnés pour le BIM. En considérant l'investissement des entreprises de logiciels et d'édification dans la technologie de BIM, on peut voir que ce développement et cette évolution ont suivi une tendance croissante et en cours. Et compte tenu également de son impact important sur les divers niveaux d'édification en termes de diminution des problèmes et des interférences dans les discussions de conception et d'exécution , cela aidera certainement à mettre en œuvre de nouveaux plans d'édification à l'avenir (Solnosky et al., 2014).

### **2.1.6 Le BIM dans les pays développés**

Aujourd'hui la plupart des pays oblige l'utilisation de la technologie de BIM dans les projets. Depuis 2007, aux États-Unis, l'utilisation du BIM dans tous les projets gouvernementaux est devenue obligatoire. Depuis 2013, les Émirats arabes unis en imposent l'utilisation du BIM dans les projets gouvernementaux et dans tous les projets privés de plus de 40 étages et 27 000 mètres carrés d'infrastructure. Depuis 2015, Singapour exige que tous les projets avec une infrastructure de plus de

5000 mètres carrés utilisent le BIM. Dans d'autres pays comme l'Angleterre, la Chine, la Corée du Sud, le Japon, etc., la tendance à utiliser le BIM se développe également (Smith, 2014).

### **2.1.7 Le coût d'utilisation de la technologie BIM dans les projets d'édification**

Le coût d'utilisation de la technologie BIM dans les projets d'édification dépend de divers facteurs tels que les détails et la complexité du projet ainsi que le niveau d'expertise de l'équipe de conception. En raison des conceptions complexes et des rendus très lourds en BIM, des ordinateurs dotés de capacités élevées sont nécessaires pour son exécution, qui doivent être fournis pour ce travail. En plus de cela, un autre coût qui doit être considéré est lié à la formation d'experts pour les logiciels et les personnes concernées dans l'atelier (Barlish and Sullivan, 2012). L'utilisation d'une équipe d'experts pour l'exécution du BIM dépend de la complexité du projet. Selon la recherche, tous les coûts d'exécution de modèles des données d'immeubles dans un projet d'édification représentent moins de 2 % des coûts totaux du projet. Compte tenu des nombreux avantages du BIM dans l'exécution des projets, ce qui entraîne de nombreux coûts à réduire, ce coût peut donc être ignoré (Eadie et al., 2013).

## **2.2 LE CORPUS DES CONNAISSANCES EN GESTION DE PROJET (PMBOK)**

La gestion de projet signifie l'utilisation de connaissances, de compétences, d'outils et de techniques pour les activités du projet pour répondre aux objectifs et aux exigences du projet (Rose, 2013). Ceux-ci doivent être présentés sous la forme d'une méthodologie, d'un cadre, d'un guide, d'une norme ou d'un corpus de connaissances, dont les plus importants sont (Institute, 2013) :

**Tableau 3 - Recueil Complet de Corpus de Connaissances et Méthodologies en gestion de Projet**

PMBOK	Guide du corpus des connaissances en gestion de projet A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)(Institute, 2017) Appartient à l'American Project Management Association Project Management Institute (PMI, 2013)
ICB	• Base de compétences de l'International Project Management Association • IPMA Competence Baseline (ICB)
APMBOK	Corps de connaissances en gestion de projet APM Body of Knowledge (APMBOK) Appartient au Project Management Institute of England Association for Project Management (APM)
P2M	• Guide de gestion de projet et de programme pour l'innovation d'entreprise • A Guidebook of Project & Program Management (P2M) For Enterprise Innovation • Appartient au comité de développement de la gestion de projet du Japan Engineering Advancement Institute • Engineering Advancement Association, Project Management Development Committee
PRINCE2	Méthodologie de projet en environnement contrôlé PRojects IN Controlled Environments (PRINCE 2) Propriété du Bureau des affaires du gouvernement britannique Office of Government Commerce (OGC)

Le guide du corpus de connaissances en gestion de projet appartenant à l'American Project Management Association montre de nombreuses caractéristiques positives par rapport à d'autres corpus de connaissances comme la simplicité de structure, l'attention portée à la fourniture de différentes révisions sur des périodes de quatre ans, et le fait qu'il peut être utilisée comme base de gestion de projet (Lester, 2006). Malgré ces caractéristiques positives, ces connaissances sont des connaissances générales qui ne considèrent pas de nombreuses caractéristiques des grands projets d'immobilisations, ce que l'International Project Management Association a résolu dans une certaine mesure avec la conception d'extension des projets d'édification (Faraji et al., 2022).

Dans le guide du corpus de connaissances en gestion de projet (PMBOK) lié à l'industrie de l'édification, 9 domaines ont été introduits sous différents titres.

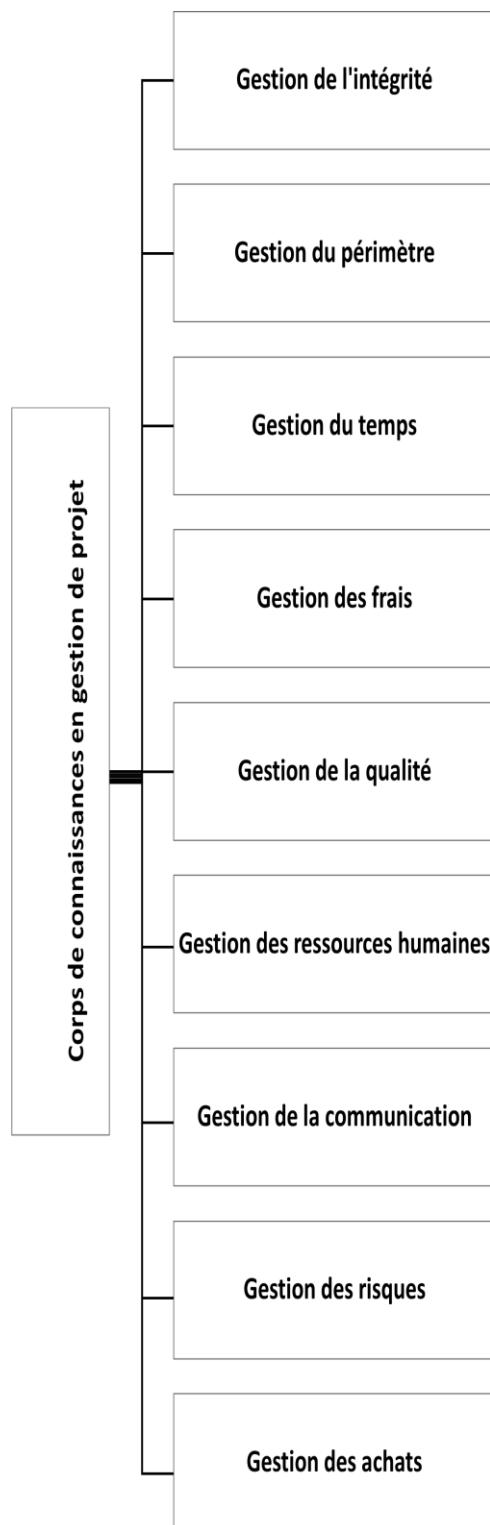
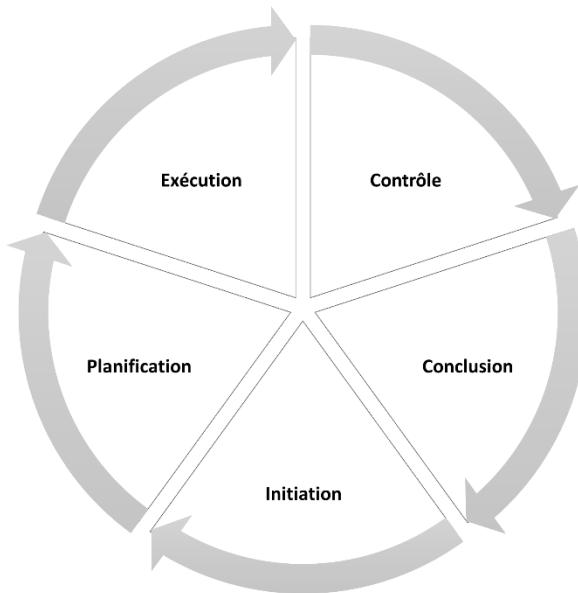


Figure 16 - 9 domaines du PMBOK dans l'Industrie de l'Édification

Source : (Guide, 2001)

Ces connaissances en gestion de projet sont utiles dans les différentes étapes de la vie du projet, surtout la conception et l'exécution, la planification du projet, son contrôle et son achèvement (Menadi and Aliouat, 2022).



**Figure 17 - Corpus de connaissances en gestion de projet**

Source : (Reich and Wee, 2006)

### 2.3 GROUPES DE PROCESSUS

Les 4 groupes de processus du corpus de connaissances en gestion de projet qui sont formés en fonction de la nature et du cycle de vie des projets sont :

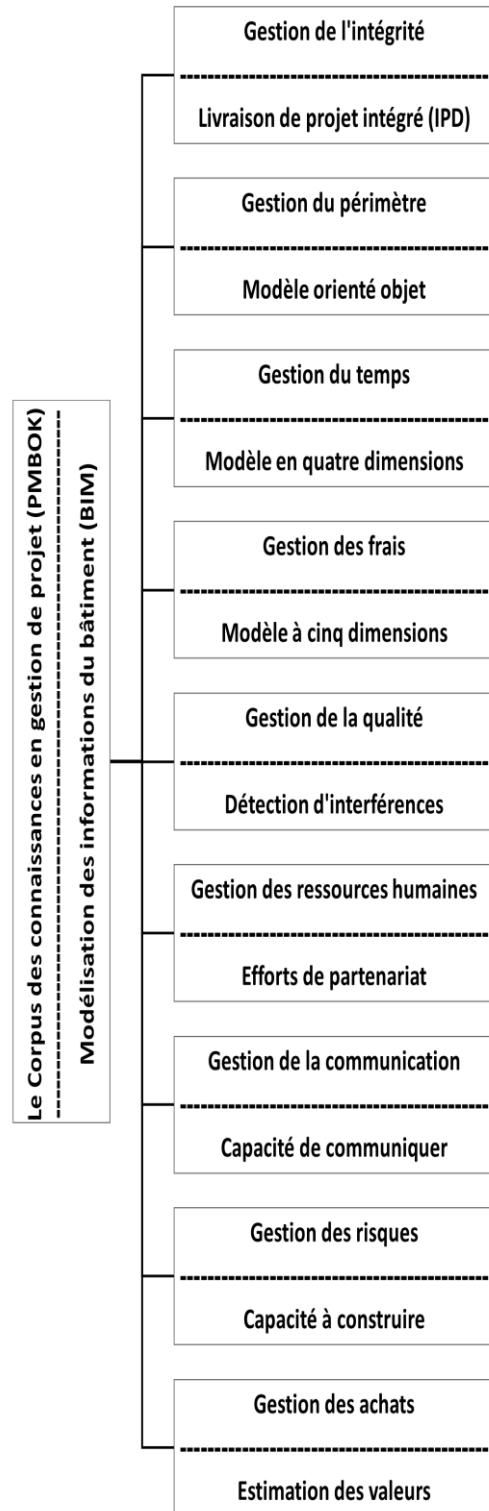
- Groupe de processus de planification : Il définit et révise les objectifs et planifie les actions nécessaires pour atteindre les objectifs et la portée que le projet s'est engagé à atteindre.
- Groupe de processus d'exécution : Il intègre des personnes et d'autres ressources afin de réaliser le plan de gestion du projet.
- Groupe de processus de contrôle : Il identifie les écarts par rapport au plan de gestion de projet, il mesure et surveille régulièrement les progrès, afin que des mesures correctives puissent être prises si nécessaires pour atteindre les objectifs du projet (Edition, 2018).

- Groupe du processus de conclusion du projet : Il accepte formellement le résultat des travaux et mène le projet ou une phase du projet à une fin conventionnelle.

Chacun des groupes de processus ci-dessus est constitué de processus qui seront décrits ci-dessous (Westland, 2007).

#### 2.4 PMBOK ET BIM

Dans la Figure 16, les titres des domaines de connaissances en gestion de projet et les capacités liées à ces domaines dans la technologie de BIM sont présentés. La technologie de BIM a de nombreuses capacités et fonctionnalités qui fournissent aux responsables de l'édification les outils propres afin de mettre en œuvre les connaissances en gestion de projet. Les cas d'utilisation de la technologie de BIM dans les domaines de la gestion de l'édification et du contrôle de projet et les cas de leur exécution sont discutés (Bryde et al., 2013).



**Figure 18 - Les Capacités de la Technologie BIM dans la Gestion de Projet de l'Édification**

Source : (Bryde et al., 2013)

#### 2.4.1 Gestion de l'intégration et BIM

La gestion de l'intégration est le premier domaine de connaissance de la gestion de projet qui consiste à identifier, définir, combiner, rassembler et coordonner différents processus et activités de gestion de projet dans des groupes de processus de gestion de projet (Bryde et al., 2013).

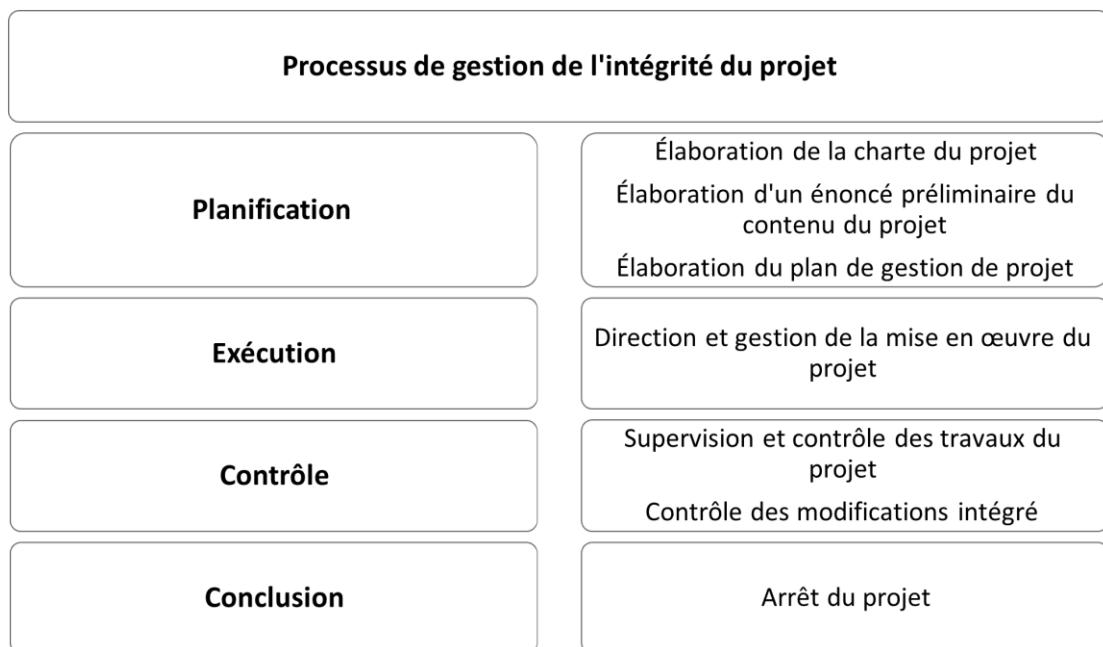


Figure 19 - Processus de gestion de l'intégrité du projet

Source : (Reich and Wee, 2006)

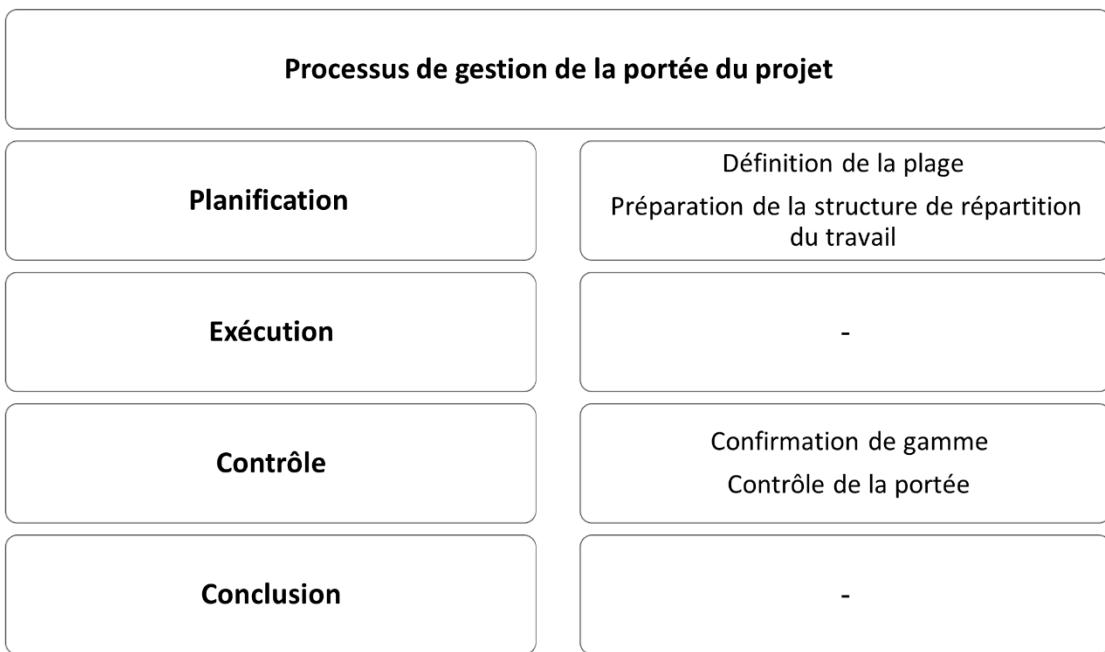
La technologie de BIM intègre également la planification, l'ordonnancement et les efforts impliqués dans un projet par différents membres de l'équipe de projet au cours des différentes phases de documentation. À cette fin, le concept de livraison de projet intégré (IPD), qui est une méthode en pleine croissance, est utilisé (Stackpole, 2013). IPD est une méthode de livraison de projet qui unifie et intègre les efforts de différentes disciplines de tous les départements, y compris les chefs de projet, les concepteurs, les ingénieurs, les systèmes et les procédures dans un processus collaboratif. IPD optimise sa valeur en améliorant l'efficacité dans toutes les phases du projet et en fait une équipe cohérente en employant tous les départements impliqués (Zwikael, 2009).

Les outils technologiques de BIM permettent à toutes les équipes de relier, visualiser et analyser les problèmes importants du projet de manière complète et cohérente. Combiner et unifier les informations de tous les départements dans un modèle intégré augmente la productivité des équipes de projet et facilite sa gestion. La livraison de projet intégrée basée sur BIM présente de nombreux avantages dans le cycle de vie du projet d'édification. De cette manière, les équipes de projet peuvent suivre, évaluer et réviser plus efficacement le projet et prendre les décisions appropriées, résoudre les conflits et les contradictions et mettre en œuvre le projet avec succès (Brioso, 2015).

#### **2.4.2 Gestion de la portée et BIM**

La gestion de la portée du projet comprend les processus requis pour s'assurer que le projet comprend le travail requis pour mener à bien le projet.

Le plan de gestion de la portée du projet comprend des processus qui spécifient exactement ce qui doit être fait dans le cadre du projet ou ce qui est en dehors de la portée de l'exécution du projet. Les objectifs du projet, les hypothèses et les limites régissant l'exécution du projet sont précisés dans cette section. Le plan de gestion de la portée du projet comprend les descriptions de la portée du projet, les limites et le cadre du projet, les limites du projet, la portée d'inclusion du projet, la portée d'exclusion du projet et les hypothèses du projet (Rose, 2013).



**Figure 20 - Processus de gestion de la portée du projet**

Source : (Reich and Wee, 2006)

L'un des principaux axes de la gestion de la portée est de créer une structure de défaillance efficace Work Breakdown Structure (WBS). Le processus de création d'un WBS consiste à diviser les livrables et les tâches du projet en composants plus petits et plus faciles à gérer. Le WBS organise et définit la portée globale du projet et représente le travail spécifié dans l'énoncé de portée du projet approuvé (Reich and Wee, 2006). Considérant que les modèles d'information du bâtiment sont généralement constitués d'objets (et non de composants géométriques tels que des lignes, des plans, etc.), l'ensemble du projet peut être divisé en un certain nombre d'objets plus petits; cette analyse permet de définir une plage spécifique. Cette séparation des éléments contribue à une meilleure gestion de la conception, de l'estimation et de l'édification. En fait, en utilisant la capacité de modélisation orientée objet, tout ce qui existe dans la définition de la portée d'un projet d'édification peut être défini et affiché dans un modèle intégré. De plus, le modèle d'information sur le bâtiment, qui est mis à jour au cours des différentes phases, est un outil approprié pour documenter les modifications approuvées et confirmer la portée du projet (Haughey, 2010).

### 2.4.3 Gestion du temps et BIM

La gestion du temps de projet comprend les processus nécessaires pour gérer l'achèvement en temps voulu d'un projet (Varajão et al., 2017).

Le plan de gestion de la planification du projet a pour objectif de séparer toutes les activités de chaque étape du projet et de les planifier afin de servir de base à la gestion de l'exécution des activités et à l'exercice du contrôle nécessaire sur celles-ci. Pour augmenter la précision du projet, une planification générale est préparée au début du projet. Ce plan est réexaminé au début de chaque étape et un plan détaillé d'exécution de cette étape est préparé. La planification comprend les activités et les principales étapes d'exécution du projet selon la méthodologie utilisée (Kloppenborg and Opfer, 2002).

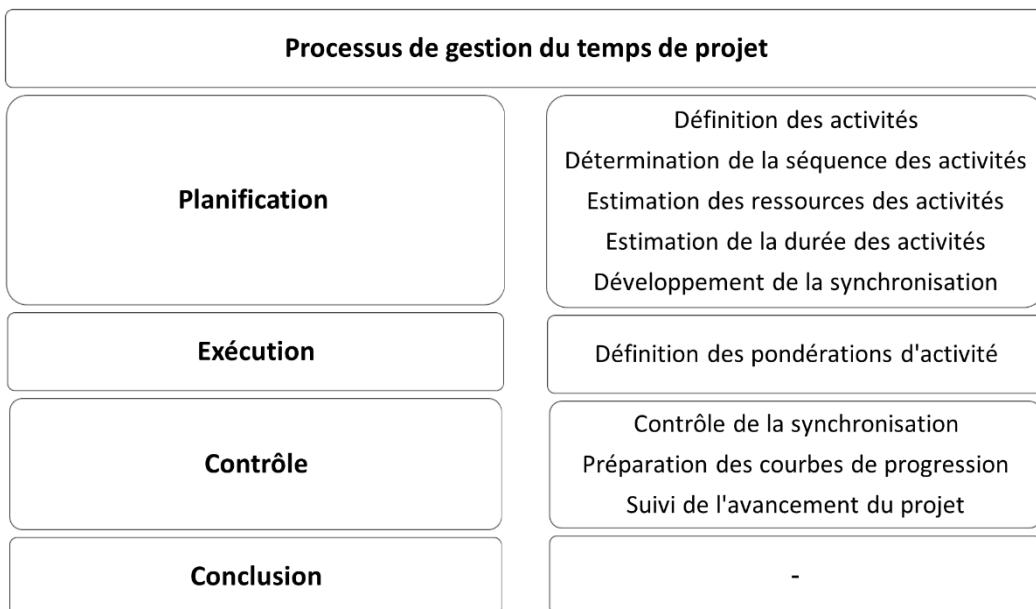


Figure 21 - Processus de gestion du temps de projet

Source : (Varajão et al., 2017)

Les processus de gestion du temps peuvent être réalisés à l'aide d'outils technologiques de BIM. Le modèle d'informations sur le bâtiment est créé en créant un modèle tridimensionnel comprenant les composants et les éléments du bâtiment, et la quatrième dimension (le temps d'exécution de chacun des éléments du bâtiment) est ajoutée à la planification du projet. Ce modèle est appelé modèle à quatre

dimensions. En règle générale, les planificateurs d'édification utilisent des grilles CPM et des graphiques à barres pour décrire la planification d'un projet, qui ne fournit aucune information sur les caractéristiques 3D et la complexité des composants de travail. Parce que ces réseaux sont une représentation sommaire de la planification du projet, les utilisateurs doivent donc interpréter les activités afin de comprendre les étapes de travail.

Les réseaux CPM existants ne permettent pas de décrire les contraintes des projets d'édification tels que la disponibilité des ressources, le capital et l'état du site, qui sont des facteurs externes très importants dans la prise de décision. De plus, l'intégration du temps et du coût dans le format de planification CPM est très difficile en raison de sa nature orientée activité, alors que dans le processus d'édification, le projet est exécuté sur la base d'éléments de travail (sous la forme d'informations sur le coût et les ressources) qui sont associés à l'activité, les échéanciers du projet ne sont pas en bonne relation.

Certains chercheurs ont fourni des systèmes intégrés qui planifient des projets avec des applications technologiques de modélisation de l'information du bâtiment.

Dawood et al ont proposé un modèle virtuel d'un chantier d'édification qui fournit un système d'aide à la décision pour la planification de l'édification. (Dawood et al., 2002) Chau et al ont mis en œuvre un modèle de gestion d'atelier en quatre dimensions pour la gestion de l'édification. (Chau et al., 2005)

Pucko et al ont présenté un modèle qui crée une planification sous la forme d'une ligne de flux et d'un graphique à barres en ajoutant des informations sur le bâtiment étape par étape par les équipes de projet. (Pučko et al., 2014)

#### **2.4.4 Gestion des coûts et BIM**

La gestion des coûts de projet comprend des processus liés à l'estimation, à la budgétisation et au contrôle des coûts afin que le projet puisse être achevé dans les limites du budget approuvé (Smith, 2016).

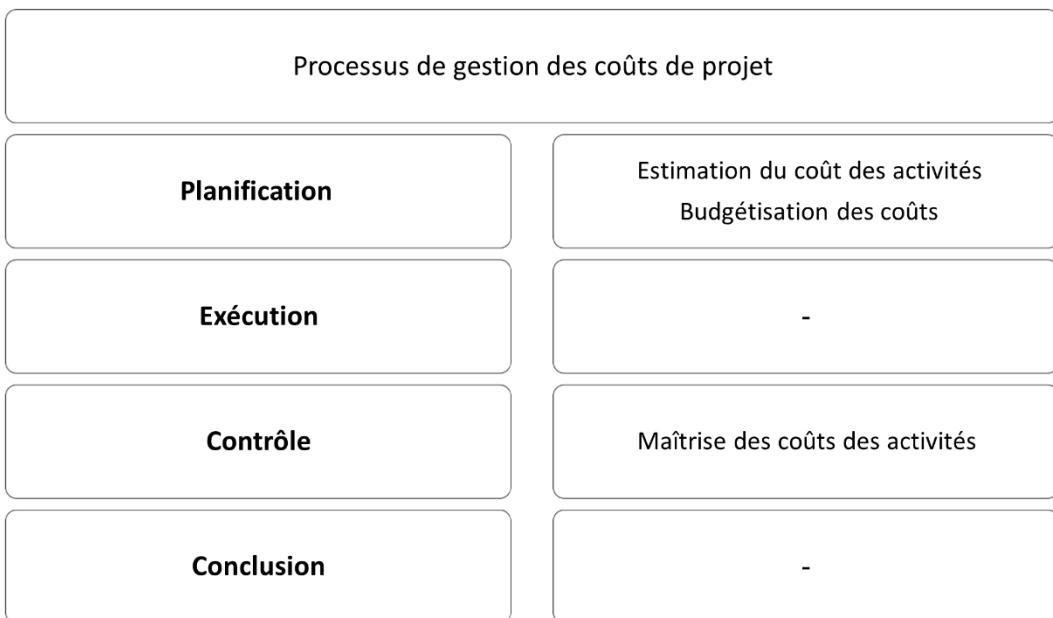
Le directeur de l'édification est chargé d'approuver, de produire, de suivre, de rapporter et de documenter les coûts budgétés du début de l'estimation à la fin de

l'audit. L'une des parties importantes de la gestion des coûts est l'estimation des coûts, qui comprend l'estimation des matériaux, de l'équipement et des autres ressources nécessaires pour mener à bien les activités du projet (Wang et al., 2012). L'estimation des coûts, l'explication du plan budgétaire et sa gestion sont les trois composantes de tout projet, qui retiennent toujours l'attention des responsables et des partisans du projet dans les domaines de l'employeur et de l'exécutif (Rad, 2001). De l'éviter entraînera les aspects de justification économique et une partie de celle-ci est déformée et remise en cause par toutes les parties prenantes. Par conséquent, la négligence dans la formulation, le contrôle et le respect de ce facteur important entraînera non seulement des risques graves dans la poursuite des activités du projet, mais entraîneront également des perturbations dans le processus d'exécution des activités et des coûts directs et indirects naturellement important qui imposeront au projet (Vigneault et al., 2020). En définissant les principaux facteurs du projet, c'est-à-dire la zone de couverture, les ressources et la planification des étapes précédentes, les activités nécessaires à la réalisation des livrables, les ressources mettant en œuvre les activités et leur temps de travail ont été compilés. Par conséquent, en utilisant le taux standard et les heures de travail prévues pour l'exécution de chaque activité, le coût d'exécution de l'ensemble des activités et finalement du projet peut être estimé (Reich and Wee, 2006).

L'objectif principal de l'élaboration d'un plan financier est de fournir un cadre permettant au projet d'atteindre les objectifs définis dans le cadre du budget approuvé, et le manque de ressources financières ne crée pas de perturbation dans l'exécution des activités du projet (Jrade and Lessard, 2015). Les sous-objectifs suivants sont également pris en compte :

- Clarification les besoins en ressources financières lors de l'exécution du projet
- Planification d'acquisition des ressources financières
- Explication de la circulation de l'argent, notamment pour l'employeur
- Élaboration d'un plan clair pour contrôler les coûts du projet

(Karaman and Kurt, 2015)



**Figure 22 - Processus de gestion des coûts de projet**

Source : (Guide, 2001)

La gestion des coûts de projet dans la technologie de BIM est possible en ajoutant des estimations de coût pour l'exécution des composants et des éléments et en créant un modèle en cinq dimensions. Il est également possible de communiquer directement entre le BIM et le logiciel d'estimation des coûts (Stackpole, 2013).

Zhang et al ont présenté un système d'information sur les bâtiments qui comprend des informations budgétaires et leur suivi (Zhang et al., 2009).

Hardin a également expliqué l'application du modèle d'information du bâtiment dans la gestion efficace du budget (Hardin, 2009).

Popov et al ont expliqué comment les flux de trésorerie peuvent être prédits dans un modèle à cinq dimensions (Popov et al., 2010).

Pucko et al ont également proposé un modèle dont les informations sont ajoutées et complétées à différentes étapes, fournissant une estimation des coûts dans une structure basée sur les informations du bâtiment (Pučko et al., 2014).

#### **2.4.5 Gestion de la qualité et BIM**

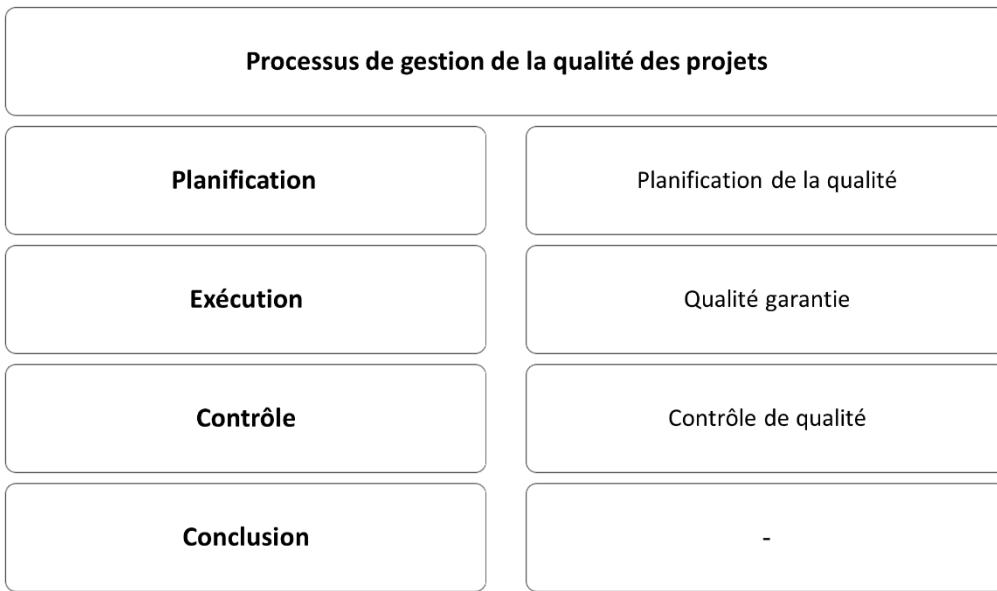
La gestion de la qualité du projet comprend des processus et des activités qui spécifient les responsabilités, les objectifs et les politiques de qualité visant à répondre aux besoins du projet (Chen and Luo, 2014).

La qualité est l'ensemble des caractéristiques d'une entité, telle qu'elle puisse répondre aux attentes et besoins exprimés, ou implicites. Avec cette définition, il faut reconnaître que la planification de la qualité est beaucoup plus rentable que d'atteindre la qualité souhaitée en inspectant les résultats du travail et en refaisant le travail. En d'autres termes, le coût de la perte d'une bonne qualité est beaucoup plus élevé que le coût de la qualité (Mirshokraei et al., 2019).

Dans chaque projet, un certain niveau de qualité est défini, par conséquent, atteindre la qualité souhaitée nécessite d'appliquer une gestion de la qualité. Ce type de gestion comprend un ensemble de processus nécessaires pour assurer l'exécution satisfaisante et acceptable des obligations du projet, et son ensemble d'activités repose sur quatre composantes de base :

- Planification de la qualité
- Qualité garantie
- Contrôle de qualité
- Amélioration de la qualité des processus

(Ma et al., 2018)



**Figure 23 - Processus de gestion de la qualité des projets**

Source : (PMBOK® Guide, Seventh Édition, 2021)

Dans les méthodes conventionnelles, si l'équipe de conception n'a pas l'expertise nécessaire, il est difficile d'adapter les diverses installations architecturales, structurelles, électriques et mécaniques. Cependant, le modèle d'information sur le bâtiment permet à l'équipe de conception et au responsable de l'édification d'examiner et de résoudre virtuellement les conflits lors des réunions de coordination. Par conséquent, la qualité du projet est considérablement augmentée avant le début de l'édification proprement dite. Au cours du processus de fabrication, la qualité peut être contrôlée par des méthodes conventionnelles telles que la modélisation des processus par rapport aux normes de qualité. Mais le processus d'édification peut être enregistré, maintenu et intégré dans l'environnement du modèle d'information du bâtiment.

L'une des questions importantes dans la planification de la qualité est le coût de la qualité, qui comprend les coûts de conformité et de non-conformité. Le coût des retouches et des déchets est l'un des coûts de la non-conformité qui peut être évitée en utilisant les capacités de la technologie de BIM. En fait, en apportant des modifications au modèle et en l'analysant virtuellement avant la phase d'édification,

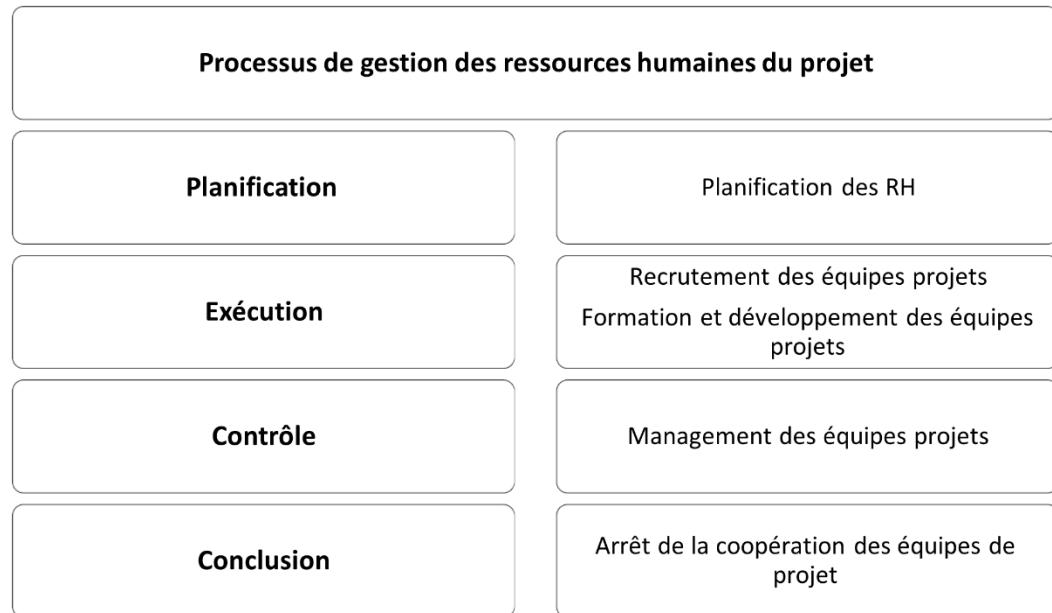
il est possible d'éviter les reprises et les déchets causés par les interactions de conception. Ce problème est causé par les capacités de découverte des interactions de la technologie de BIM avant l'exécution réelle du projet.

Kim et al ont recherché comment créer rapidement des modèles 3D d'un chantier d'édification à l'aide de la numérisation laser.(Kim et al., 2003)

#### **2.4.6 Gestion des ressources humaines et BIM**

La gestion des ressources humaines comprend les processus d'organisation, de gestion et de direction des équipes de projet.

(PMBOK® Guide, Seventh Édition, 2021)



**Figure 24 - Processus de gestion des RH du projet**

Source : (PMBOK® Guide, Seventh Édition, 2021)

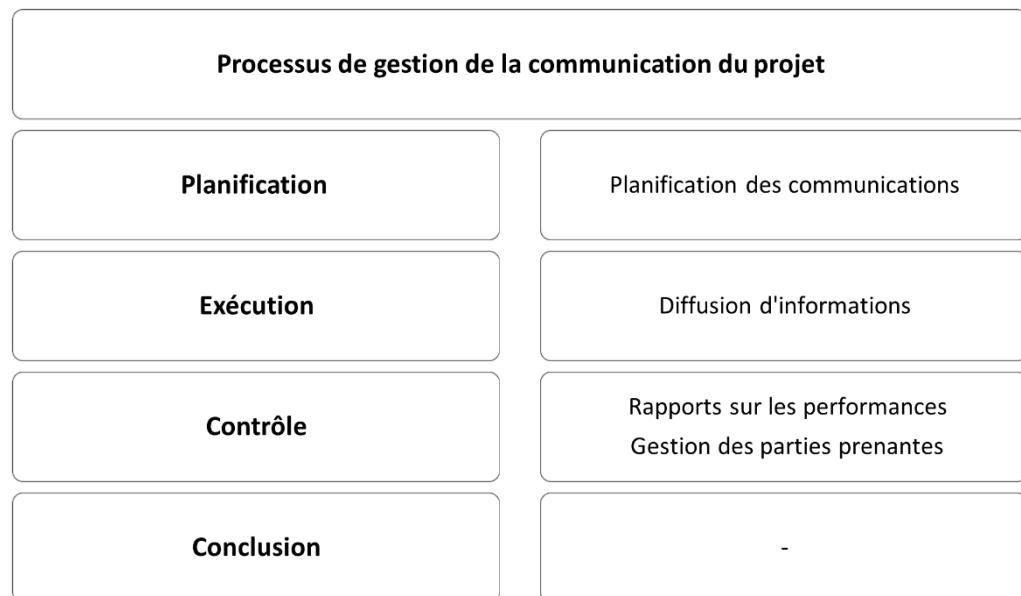
Le gestionnaire de l'édification intègre tous les services de conception, de gestion, de sous-traitance et de conseil en édification dans un seul espace d'équipe, dans le système de gestion de l'édification. Le concept de partenariat, qui se définit dans l'édification d'une technologie de modélisation de l'information entre les différents départements impliqués dans le projet (au cours de son cycle de vie), est efficace dans

la gestion des ressources humaines, en particulier la formation et le développement des équipes de projet et des équipes virtuelles.

Wang et al ont présenté un système basé sur le BIM pour intégrer la gestion dynamique des ressources humaines et le système d'aide à la décision(Wang et al., 2004).

#### **2.4.7 Gestion de la communication et BIM**

Les processus de l'assurance de la génération, la distribution, le stockage, la collecte, la récupération et la mise à jour opportuns et appropriés des informations du projet sont des parties de la gestion de la communication de projet. La gestion de la communication crée de liens critiques entre les personnes et les informations requises pour la réussite du projet. La définition de la structure des rapports, les précisions des réunions régulières, l'information des parties prenantes du projet, leurs besoins de communication et les activités de communication à mener au cours du projet sont des plans de gestion de la communication. Le développement de ces plans a comme objectif de s'assurer que les bénéficiaires du projet reçoivent les informations nécessaires et suffisantes dans les délais précis (Chegu Badrinath et al., 2016).



**Figure 25 - Processus de gestion de la communication du projet**

Source : (PMBOK® Guide, Seventh Édition, 2021)

Le maître d'œuvre peut accéder à des documents numériques en cas de besoin et créer un système de communication informatisé puisque la technologie de BIM est une base de données d'informations. La technologie de BIM est un outil approprié pour la distribution et la collecte d'informations et de rapports de performance. La possibilité de transférer et d'échanger des informations entre les logiciels liés au BIM permet de produire, diffuser, récupérer et synthétiser les informations nécessaires au projet (Chegu Badrinath et al., 2016).

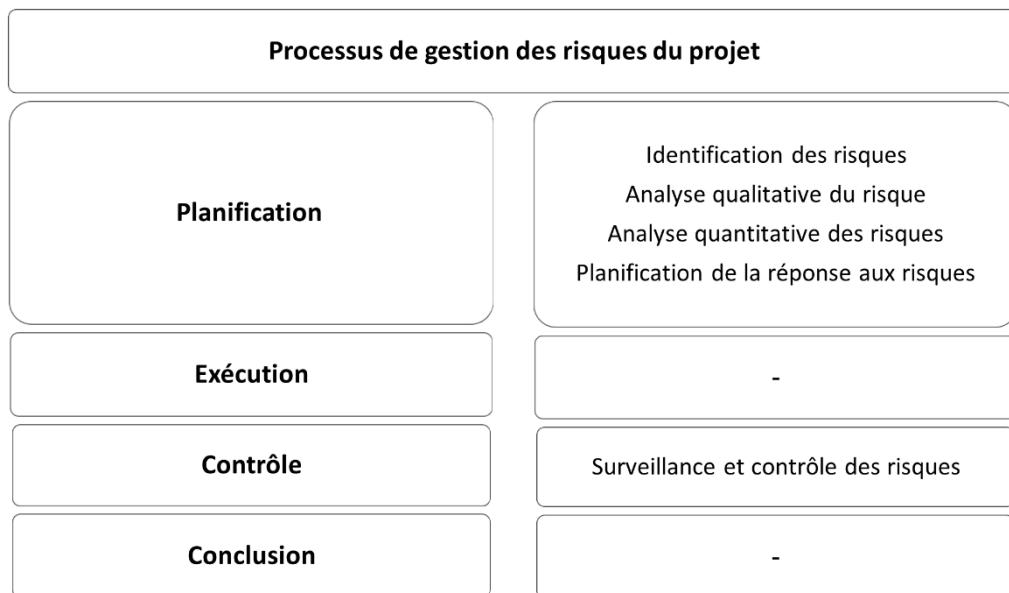
#### **2.4.8 Gestion des risques et BIM**

L'objectif de la gestion et de l'évaluation des risques dans le projet dans le cas plus général est d'amélioration des capacités de prévision dans le processus d'exécution du projet ce qui identifie les risques et les analyse afin de les réduire. Chaque risque affecte au moins un des objectifs du projet s'il se produit. L'effet du risque peut être positif ou négatif. Un risque négatif est un problème qui peut survenir et est un facteur potentiel qui, s'il n'est pas géré efficacement, peut affecter négativement la réussite du projet. L'objectif de la gestion et de l'évaluation des risques est d'empêcher que des problèmes potentiels ne se transforment en problèmes réels (Zou et al., 2017). Le processus de gestion et d'évaluation des risques comprend 5 étapes principales, qui sont :

- Définition et explication du format de risque
- Identification des risques du projet
- Évaluation et analyse des risques
- Gestion et diminution des risques
- Surveillance continue et examen des risques pendant l'exécution du projet

Dans le processus de gestion et d'évaluation des risques, après avoir défini un format spécifique et un format de rapport sur les risques, avec la coopération des principaux acteurs impliqués dans le projet, tant au niveau de l'employeur que des services exécutifs, les risques du projet sont identifiés et la probabilité et la gravité de leurs effets sont déterminées. Dans l'étape suivante, sur la base des limites définies, les risques sont analysés, évalués et, sur la base de la politique spécifiée pour chacune

des limites, ils sont traités et une proposition est présentée pour y faire face. Lors de chaque période du projet, un rapport sur les risques est présenté à l'employeur selon le format spécifié (Darko et al., 2020).



**Figure 26 - Processus de gestion des risques du projet**

Source : (PMBOK® Guide, Seventh Édition, 2021)

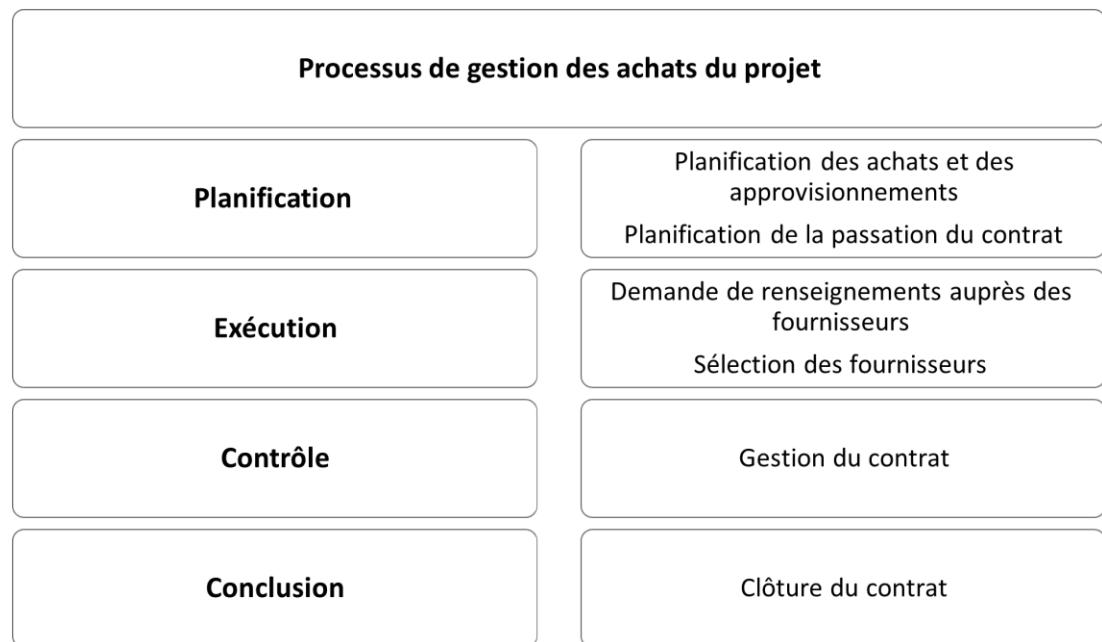
La gestion des risques est couramment appliquée aux domaines du coût, du temps, de la gestion des contrats et de la sécurité dans les projets d'édification. Il peut également être utilisé dans les politiques d'appel d'offres, les études de faisabilité, les études de marché, l'évaluation des performances et la gestion des probabilités (Fernandes et al., 2017).

L'utilisation de la technologie de BIM crée une connexion entre les problèmes de sécurité et la planification de l'édification en améliorant la sécurité professionnelle qui peut être par exemple, un emplacement plus clair et plus sûr de l'atelier, et aussi la gestion et la visualisation des plans mis à jour et des informations sur l'état de l'atelier. De plus, la technologie de BIM est efficace pour réduire les risques liés au coût et au temps. La question de la constructibilité en utilisant des informations visuelles et la possibilité d'investigations plus poussées pour des solutions et l'élimination de

l'impossibilité d'édification réduit les risques liés au coût et au temps (Ganbat et al., 2018).

#### **2.4.9 Gestion des achats et BIM**

La réception des produits et services avec les résultats requis, les processus d'achat, la gestion des contrats et le contrôle des modifications nécessaires pour gérer les bons de commande émis par les membres de l'équipe de projet sont les parties différentes de la gestion des achats de projet (Ganbat et al., 2018).



**Figure 27 - Processus de gestion des achats du projet**

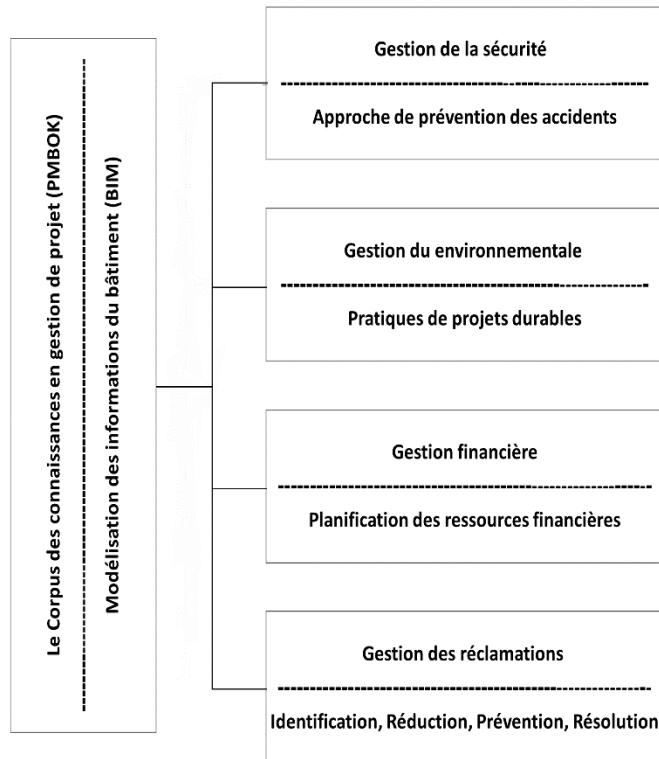
Source : (PMBOK® Guide, Seventh Édition, 2021)

L'expertise en gestion des achats comprend la proposition de formulaires et de modèles de contrat standard et les responsabilités d'exécution qui devraient être incluses dans le contrat. AGC a été la première organisation à commercialiser une documentation contractuelle axée sur l'utilisation de la technologie de BIM dans les projets en 2007 (Bank et al., 2010).

L'annexe sur BIM, un accord de collaboration tripartite publié par Consensus Docs300, promeut un processus intégré qui se concentre sur la technologie de BIM en tant qu'outil d'autonomisation des équipes de projet (Pishdad and Beliveau, 2010). En ce qui concerne la gestion des matériaux et équipements, des modèles à quatre et cinq dimensions peuvent être utilisés pour analyser l'impact du temps d'exécution et du coût des matériaux et équipements sélectionnés sur le projet (Levy, 2002).

## 2.5 AUTRES DOMAINES DE CONNAISSANCES EN GESTION DE PROJET

Quatre autres domaines ont été ajoutés aux corps de connaissances en gestion de projet, la gestion de la sécurité du projet, la gestion environnementale du projet, la gestion financière du projet et la gestion des réclamations du projet. La technologie de BIM a également des capacités propres dans ces domaines.



**Figure 28 - Autres domaines de connaissances en gestion de projet**

Source : (Cleland, 2007)

### 2.5.1 Gestion de la sécurité et BIM

La gestion de la sécurité du projet comprend toutes les activités du soutien financier ou du propriétaire du projet et de l'organisation exécutive qui déterminent les politiques, les objectifs et les responsabilités en matière de sécurité de manière à prévenir les accidents causant des blessures, des blessés ou des dommages matériels (Martínez-Aires et al., 2018).

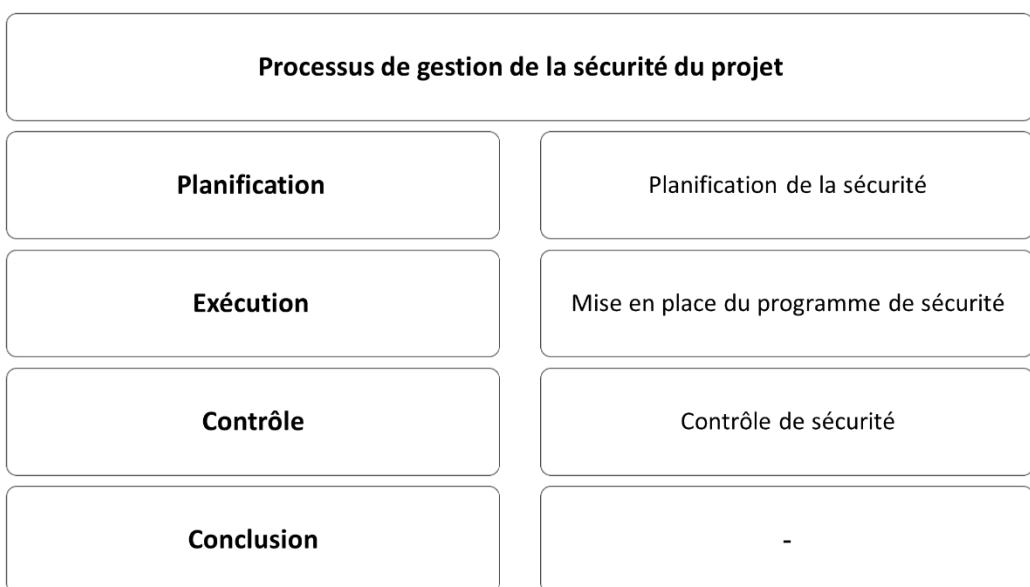


Figure 29 - Processus de gestion de la sécurité du projet

Source : (Guide, 2001)

L'édification est l'une des industries les plus dangereuses au monde. Ces risques sont dus à la rotation fréquente des équipes de travail, à l'exposition aux facteurs atmosphériques et à la forte contribution de forces non professionnelles et temporaires dans l'exécution des travaux.

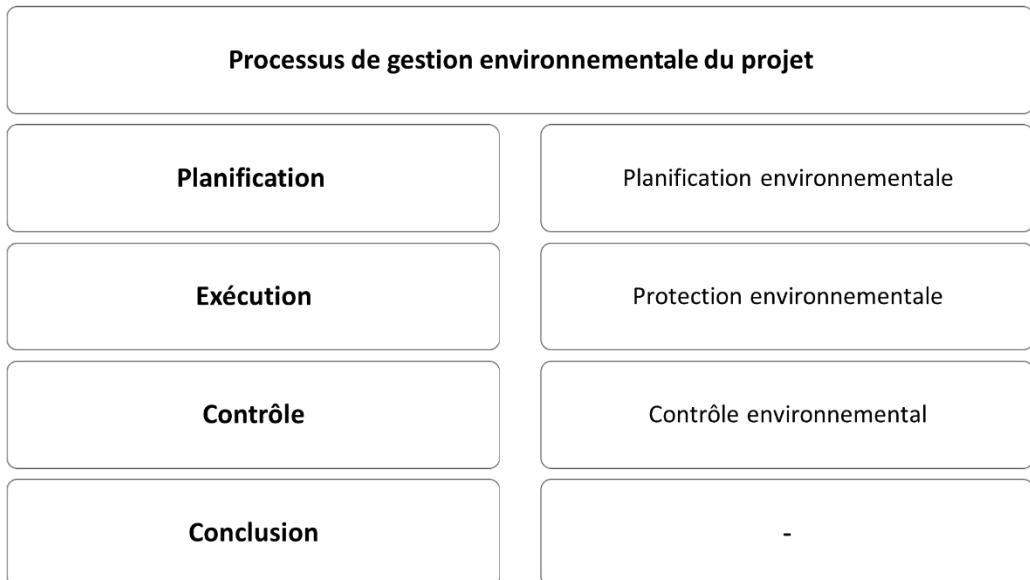
De nombreux chercheurs ont souligné le manque de cohérence entre l'édification et la sécurité. Traditionnellement, les problèmes de sécurité sont résolus par le biais de réunions, de visites et de formations périodiques. En utilisant la technologie de BIM, les responsables de l'édification et de la sécurité sont autorisés à simuler leurs prévisions et préparations de sécurité et à identifier les problèmes de sécurité potentiels avant la phase d'édification réelle du projet (Sun and Turkan, 2020).

Dans ce contexte, Popov et al ont utilisé une simulation 3D pour positionner les grues de manière à ce que leur flèche n'endommage pas la structure (Popov et al., 2010).

Dans une autre recherche, la structure d'un système de contrôle est proposée pour simuler les problèmes et les solutions du risque de chute de hauteur, sur la base de consignes de sécurité, en utilisant la technologie de BIM (Zhang et al., 2013).

### **2.5.2 Gestion environnementale du projet et BIM**

La gestion environnementale du projet comprend toutes les activités du soutien financier ou du maître d'ouvrage et de l'organisme d'exécution qui déterminent les politiques, les objectifs et les responsabilités environnementales d'une manière qui minimise l'impact sur l'environnement et les ressources naturelles environnantes et le projet au sein des limites permises exploitées légalement.



**Figure 30 - Processus de gestion environnementale du projet**

Source : (Sanchez, 2017)

Dans le cadre de la gestion environnementale du projet, la notion de développement durable peut être évoquée. La définition la plus importante du développement durable présentée au Sommet de Rio est : un développement qui répond aux besoins

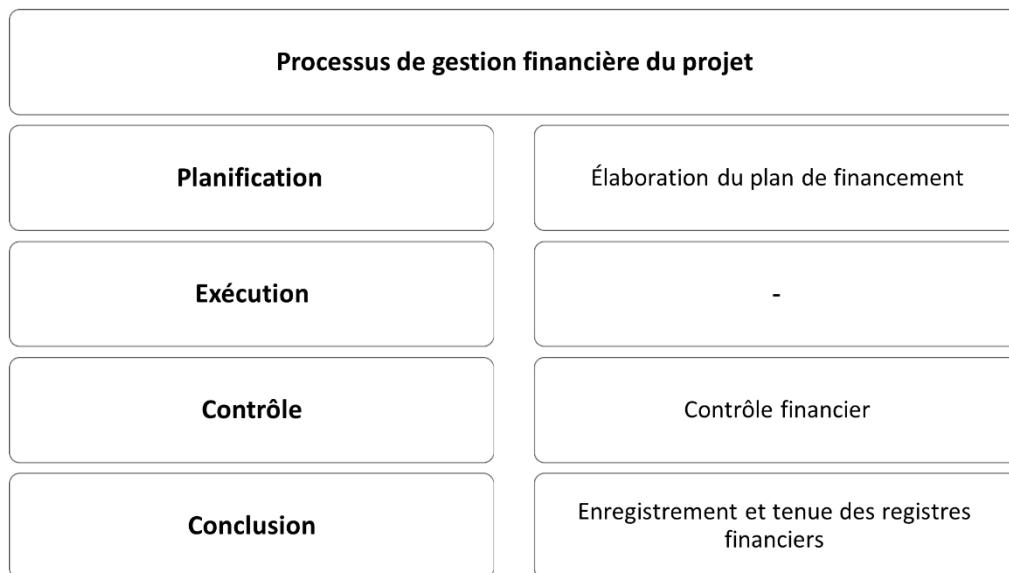
actuels de l'humanité sans compromettre les besoins des générations futures, et dans lequel l'environnement et les générations futures sont également pris en compte.

Les bâtiments verts sont des bâtiments dont la conception inclut des éléments tels que le stockage de l'énergie, la gestion de l'utilisation, l'adaptation au milieu environnant, la protection de l'environnement, la protection contre la pollution de l'eau, l'augmentation des espaces verts par habitant, la climatisation (diminution du dioxyde de carbone et augmentation de l'oxygène) et ont été considérés (Jupp, 2017). Dans les recherches menées par Naderi et Ravanshadnia, sur la base du modèle qu'ils ont conçu, des paramètres tels que le volume d'eau de pluie à stocker pour une utilisation future, l'orientation du bâtiment pour utiliser l'énergie solaire, etc., ont été déterminés (Naderi and Ravanshadnia, 2015).

En proposant une structure et un outil d'évaluation des bâtiments écologiques, Ilhan et Yaman ont tenté de fournir un modèle à l'équipe de conception qui produirait les documents nécessaires à l'obtention du certificat d'édification écologique de manière intégrée (Ilhan and Yaman, 2016).

### **2.5.3 Gestion financière du projet et BIM**

La gestion financière du projet comprend les processus d'obtention et de gestion des ressources financières pour le projet, et par rapport à la gestion des coûts, elle accorde plus d'attention aux sources de revenus et au suivi des flux de trésorerie nets avec la gestion des coûts quotidiens.



**Figure 31 - Processus de gestion financière du projet**

Source : (PMBOK® Guide, Seventh Édition, 2021)

La gestion et la prévision des flux de trésorerie d'un projet sont très importantes pour assurer le succès du projet. Selon les recherches de Russell et al., plus de 60 % des défaillances des entrepreneurs sont causées par des problèmes et des facteurs économiques (Russell and Jaselskis, 1992).

Le processus classique de prédiction de la courbe de flux de trésorerie est le suivant : calculer les valeurs de production à chaque période en fonction de l'avancement des travaux et du produit de leur multiplication par le coût, ce qui est une méthode très chronophage et a conduit à la recherche de méthodes alternatives.

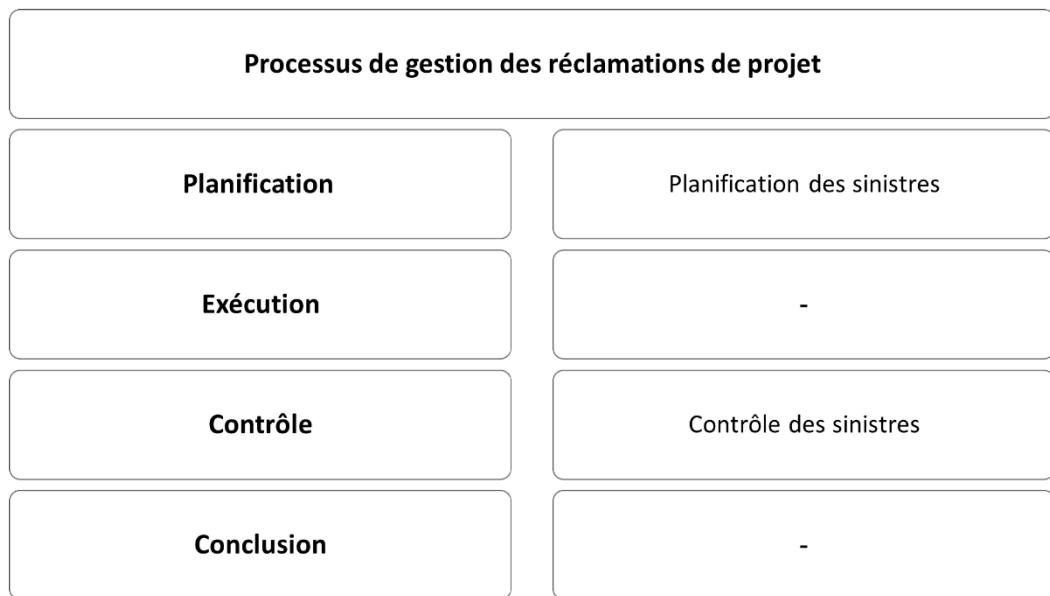
L'une de ces méthodes consiste à créer une technologie de modélisation de l'information, qui peut être utilisée dans la prévision des flux de trésorerie à l'aide d'un modèle à cinq dimensions.

Lu et al ont proposé une structure basée sur un modèle d'information sur le bâtiment qui fournit aux entrepreneurs de l'industrie de l'édification un flux de trésorerie pour prendre des décisions appropriées pour diverses options de conception et de salaire(Lu et al., 2016).

#### 2.5.4 Gestion des réclamations de projet et BIM

La gestion des réclamations de projet comprend des processus qui s'efforcent d'éliminer ou d'empêcher les réclamations de se produire et d'y réagir lorsqu'elles surviennent. Par conséquent, il peut être considéré comme similaire à la gestion des risques et à ses procédures habituelles. La gestion des sinistres se compose de quatre processus :

- Identification de la réclamation
- Minimisation de la réclamation
- Prévention des réclamations
- Solution ou accord



**Figure 32 - Processus de gestion des réclamations de projet**

Source : (PMBOK® Guide, Seventh Édition, 2021)

La gestion des réclamations est l'un des problèmes et des défis les plus importants des projets dans le monde, que de nombreux bénéficiaires de projets considèrent comme l'un des événements les plus destructeurs de l'industrie de l'édification. L'augmentation des sinistres dans l'industrie de l'édification a une relation inverse avec l'atteinte des trois principaux objectifs de gestion (délai, coût et qualité), de sorte

que l'augmentation des sinistres entraîne une augmentation des délais et des coûts et une diminution de la qualité des projets.

En modélisation classique, moins de temps sera consacré à la production des cartes, mais au cours des travaux et en trouvant des problèmes dus à la faiblesse des cartes, la question de la production des cartes exécutives et des ordres de changement et de modification des cartes précédentes se posera, et les entrepreneurs bénéficieront de ces retouches pour laquelle ils utilisent leurs propres justifications des retards, et ce genre de travaux provoque des litiges et des poursuites à la fin des travaux.

Cependant, la technologie de modélisation de l'information du bâtiment, en raison de l'exécution intégrée des travaux et en passant plus de temps dans la production du modèle initial, supprime les ambiguïtés habituelles des modèles et des plans de production, évite les retouches et ne changera pas beaucoup après avoir atteint le modèle initial. Il a pour effet de réduire les poursuites dans les projets d'édification.

## 2.6 OBJECTIFS DE L'ÉDIFICATION D'UNE TECHNOLOGIE DE BIM DANS LA GESTION DE PROJET

### **2.6.1 Illustration**

L'un des buts de la technologie de BIM est de voir les résultats attendus et de comprendre ce que le concepteur voudrait construire à l'avance. La visualisation peut être utilisée comme levier de base pour voir la séquence des activités liées à l'édification de la structure, des parties temporaires de l'atelier et des autres étapes du projet.

### **2.6.2 Capacité à construire**

L'application optimale des connaissances et de l'expérience en matière de planification, de conception, d'approvisionnement et d'organisation pour arriver aux objectifs généraux du projet est la définition du processus de constructibilité. Pendant le processus de BIM, les professionnels ajoutent souvent une grande valeur au projet en termes de constructibilité et ils apportent leurs connaissances et leur expérience dans leurs domaines d'expertise. Par exemple, lors de l'échange d'informations, les

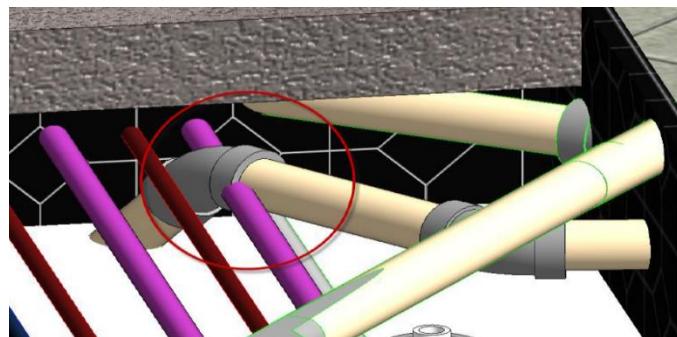
experts peuvent, par exemple, arriver à la conclusion que la structure en acier est un meilleur choix que la structure en béton pour le projet. Ce processus signifie la réalisation d'un système de livraison de projet intégré qui partage les risques et les avantages du projet avec les parties prenantes.

### **2.3.6 Coopération**

La collaboration et la coordination dans le projet garantissent que les informations créées à différentes étapes du projet seront intégrées et continues. BIM n'est pas seulement une technologie, mais un processus qui nécessite l'utilisation de technologies existantes et la coopération des utilisateurs, des constructeurs, des concepteurs et des propriétaires pour tirer la meilleure partie de BIM. L'utilisation de ces méthodes et processus organisés à un impact significatif sur l'économie et l'augmentation de la productivité du projet (Zwikael, 2009).

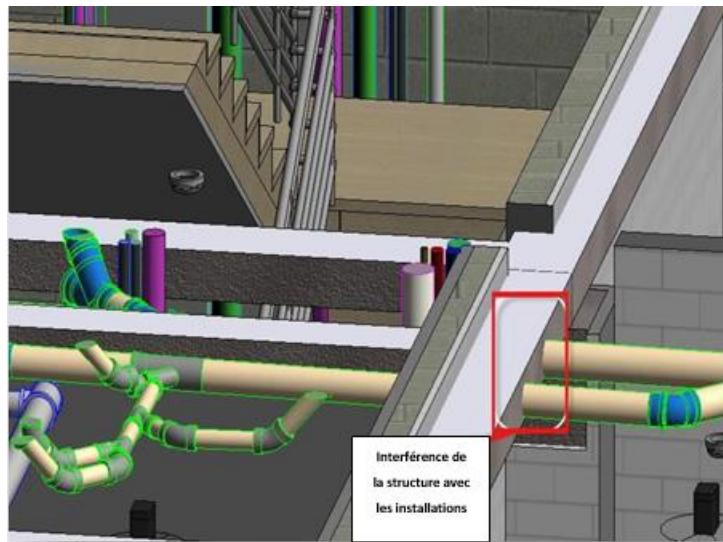
### **2.6.4 Détection d'interférences**

Dans le modèle 3D du projet, les conflits, les interférences et les collisions sont détectés automatiquement. Par exemple, les interactions entre les installations électriques et mécaniques, les éléments structuraux et non structuraux, les conduits, etc., sont identifiées par le logiciel BIM (Institute, 2000).



**Figure 33 - Image de détection de collision à l'aide de la technologie de BIM**

Source : (Han et al., 2012)



**Figure 34 - Image de détection de collision à l'aide de la technologie de BIM**

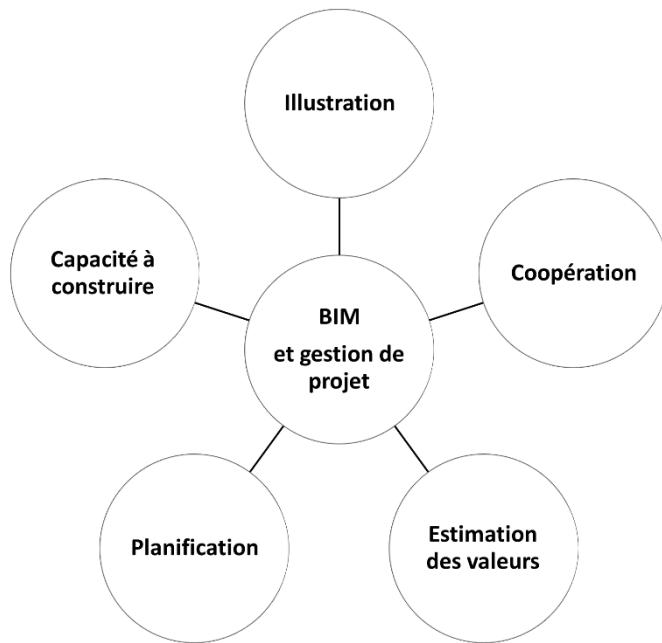
Source : (Eastman et al., 2011)

### 2.6.5 Planification

Il est possible de définir la quantité de travail effectué et le temps passé par rapport aux quantités correspondantes dans le modèle BIM, qui est simplement préparé en connectant les activités du diagramme de Gantt à des composants BIM spécifiques. Ainsi, lorsqu'une quantité change dans le modèle, la quantité de travail et le temps changent également. Ce travail peut réduire considérablement le temps consacré à l'estimation et à la replanification et offre la possibilité d'effectuer une analyse de la valeur acquise (Earned Value).

### 2.6.6 Estimation des valeurs

Les composants du plan 3D sont liés à la liste de coût et au type de matériaux. Le logiciel BIM a la capacité d'estimer les coûts (Rokooei, 2015). Les valeurs sont automatiquement extraites et mises à jour avec toute modification de la conception (Wu et al., 2014).



**Figure 35 - Objectifs de BIM dans la gestion de projet**

Source : (Rokooei, 2015)

## 2.7 APPLICATIONS DE LA TECHNOLOGIE DE BIM POUR LES CHEFS DE PROJET

### 2.7.1 Élaboration d'une planification et d'un budget

En cas de modifications de conception, un modèle en cinq dimensions (modèle tridimensionnel + temps + coût) du BIM met automatiquement à jour la planification et le budget (Institute, 2000).

### 2.7.2 Bonne relation avec l'équipe de conception

En utilisant le modèle intégré en cinq dimensions du BIM et l'affichage visuel des modifications apportées à la conception et de leurs travaux résultants, le chef de projet a toujours une maîtrise de la portée du projet et sera une interface appropriée entre le client et le concepteur (Hodgson and Cicmil, 2006).

### 2.7.3 Recrutement et contrôle des sous-traitants

La détection et la coordination des conflits entre sous-traitants jouent un rôle clé dans la prévision du travail des sous-traitants et le contrôle de leur travail (Porras-Díaz et al., 2015).

#### **2.7.4 Demande d'informations (RFI) et ordres de modification**

La coopération des groupes impliqués dans le projet avant l'exécution minimisera ces valeurs.

#### **2.7.5 Satisfaction de l'employeur**

Lorsque le chef de projet montre concrètement l'effet des modifications de conception sur le temps et le coût du projet pour le client, le client gagnera plus de confiance dans l'entrepreneur (Rydén, 2013).

#### **2.7.6 Clôture du projet**

La présentation du modèle BIM au propriétaire, qui comprend des informations sur l'équipement, les garanties, les plans de réparation et d'entretien, et d'autres informations précieuses lui fournit l'information nécessaire pour la période de fonctionnement du produit du projet (Chelson, 2010).

#### **2.7.7 Marge bénéficiaire**

Avec le modèle BIM 5D, le chef de projet peut avoir un meilleur contrôle sur le projet et avoir un accès facile aux rapports d'avancement tout au long du projet.

#### **2.7.8 Augmentation du nombre d'employeurs exigeant l'exécution de la technologie BIM dans les projets**

Les chefs de projet maîtrisant le BIM auront un avantage concurrentiel précieux (Peterson et al., 2011).

### **2.8 LE RÔLE DE LA TECHNOLOGIE DE BIM DANS LA GESTION DE LA RÉNOVATION ET DE L'AMÉLIORATION DES BÂTIMENTS**

Dans la gestion de la rénovation et de l'amélioration des bâtiments, l'identification initiale et la préparation des informations nécessaires sur la structure afin de prendre des décisions optimales sont des éléments les plus longues et les plus coûteuses de la rénovation et de l'amélioration des bâtiments. Les spécifications de conception, la mesure des éléments structuraux et la vérification de la qualité des poutres et des

colonnes, et l'étude du rapport géotechnique du sol local et de la carte des spécifications techniques sont réalisées (Guérin, 2012).

Si les informations disponibles sur le bâtiment souhaité et ses composants structurels ne suffisent pas, des visites fréquentes de la structure et l'utilisation de méthodes non destructives seront inévitables. Plus les informations disponibles sur le bâtiment et ses composants structurels sont précis et complets, plus le temps et le coût nécessaires pour identifier et porter un jugement correct et optimal sur la manière de restaurer le bâtiment seront réduits (Fustamante Huamán, 2014).

En utilisant la technologie de BIM, toutes les informations du bâtiment telles que les informations architecturales, la structure, les installations électriques et mécaniques peuvent être rassemblées dans un seul fichier à l'aide d'un logiciel, de sorte qu'elles puissent être utilisées pour réparer et améliorer le bâtiment si nécessaire. La part d'identification, d'échantillonnage et d'étude est retirée du processus de rénovation et d'amélioration des bâtiments (Aziz et al., 2011). Dans un modèle d'information BIM, toutes les informations relatives au nombre et à la taille des composants structuraux et non structuraux, à la résistance des composants, au type de matériaux et de matériaux utilisés, au type de sol et à ses conditions, aux conditions d'analyse et de conception dès la fondation et le système structurel dans son intégralité. Il a été compilé dans des fichiers connexes, et en se référant aux fichiers BIM, en très peu de temps, vous pouvez extraire les informations d'architecture, de structure, d'installations électriques et mécaniques, et selon cela, vous peut commencer la réparation et l'amélioration (Paxi Mamani, 2015).

De plus, en utilisant la technologie BIM, il est possible d'estimer le montant des dommages causés au bâtiment, le temps et le montant des coûts nécessaires pour réparer les bâtiments. Par exemple, en préparant un fichier BIM, il est possible de déterminer les emplacements possibles des éléments structuraux et non structuraux qui seront endommagés plus tôt par un tremblement de terre, ainsi que l'ampleur potentielle des dommages, le temps nécessaire pour réparer les dommages et les

moyens de réparer ce dommage afin de prendre une décision (Sertyesilisik and Kivircik, 2017).

## CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE

En tenant compte de l'importance primordiale du sujet de recherche, il est indispensable d'adopter une méthodologie appropriée pour analyser et étudier les aspects complexes. Ainsi, dans ce chapitre du mémoire, après avoir exposé de manière rigoureuse la méthodologie de recherche adoptée, la description détaillée de l'étude de la population statistique et la formulation du questionnaire sont abordées avec précision.

### 3.1 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE

La méthodologie de recherche adoptée dans cette étude repose sur une approche pragmatique, visant à accroître les connaissances en matière de BIM au sein des entreprises contractantes, dans le but de minimiser les retouches et de gérer efficacement le temps et les coûts des projets de construction. La collecte des données a été réalisée par le biais d'une approche descriptive, permettant de décrire de manière détaillée les faits relatifs au système BIM. Sur cette base, les conditions préalables essentielles et l'importance de l'utilisation de ce nouveau système de modélisation dans les conceptions et les constructions civiles ont été étudiées en profondeur.

En complément de l'étude mentionnée précédemment, une recherche parallèle a été menée pour examiner de manière approfondie la littérature existante sur l'utilisation du BIM dans les entreprises contractantes, ainsi que sur l'intégration de la gestion dans ces organisations, notamment au sein d'universités et d'institutions de renom. Conformément à la méthodologie de recherche adoptée, un questionnaire a été élaboré afin de répondre aux objectifs spécifiques de l'étude et de servir d'outil de collecte de données. Il convient de noter que ce questionnaire a été élaboré ultérieurement, une fois entamées les recherches documentaires et une brève enquête de terrain.

En outre, les méthodes suivantes ont été utilisées pour collecter les informations nécessaires à cette recherche :

- ✓ L'utilisation d'études bibliographiques rigoureuses, comprenant l'étude de livres, de catalogues, de revues spécialisées et d'articles de recherche scientifique pertinents sur le sujet de l'étude.
- ✓ L'accès à des sources d'information authentiques, telles que Scopus, Google Scholar et la Bibliothèque de l'Université UQTR, pour consulter des articles de recherche, des mémoires et d'autres documents académiques.
- ✓ La recherche de données sur les sites web d'organisations professionnelles et d'entreprises contractantes opérant dans le secteur de la construction.
- ✓ La réalisation d'entretiens et de consultations avec des experts du domaine, notamment des consultants spécialisés dans l'utilisation du BIM dans les projets de construction.

Toutes ces méthodes ont été employées avec rigueur et précision afin de garantir la collecte d'informations de qualité et pertinentes pour répondre de manière approfondie aux objectifs de recherche établis.

La présente étude vise à collecter des données statistiques et des informations sur l'utilisation du système de BIM dans le contexte des projets d'édification. Plus spécifiquement, l'enquête s'appuie sur un questionnaire conçu pour interroger des consultants spécialisés. La population cible de cette recherche est constituée de professionnels œuvrant au sein d'entreprises contractantes impliquées dans des projets d'édification d'envergure.

La population statistique visée dans cette recherche est constituée des entreprises techniques et d'ingénierie établies au Canada. Pour atteindre les objectifs de l'étude, des échantillons ont été sélectionnés, comprenant à la fois des employés et des membres de Silex (entrepreneur en édification de bâtiments) et EXO (entrepreneurs généraux), ainsi que des experts issus de diverses entreprises interrogés via le site LinkedIn. La sélection des échantillons a été effectuée de manière à répondre aux besoins spécifiques de la recherche. Les échantillons interrogés en personne ont été

constitués de membres du personnel et d'employés des entreprises ciblées, tandis que ceux interrogés via LinkedIn étaient des experts provenant de différentes entreprises du secteur technique et d'ingénierie au Canada.

En synthétisant et en analysant les questionnaires recueillis en vue d'utiliser ce système dans des projets d'édification, en vue de gérer les modifications et les ajustements, les coûts et les délais, des propositions nécessaires ont été résumées et présentées dans ces domaines.

### 3.2 COLLECTE DES DONNÉES

Dans le cadre de la méthodologie adoptée, un instrument de collecte de données sous la forme d'un questionnaire comprenant 24 questions a été utilisé pour recueillir des informations sur l'état de l'enregistrement et du transfert des informations de conception dans les projets de conception et de construction. La fiabilité de ce questionnaire a été évaluée à l'aide de l'indice alpha de Cronbach, un indicateur couramment utilisé pour mesurer la cohérence interne des items d'un questionnaire. Il convient de noter que les items de ce questionnaire ont été élaborés en se basant sur une revue exhaustive de la littérature scientifique pertinente ainsi que sur les hypothèses de recherche spécifiques formulées pour cette étude, garantissant ainsi leur validité conceptuelle et leur pertinence pour les objectifs de recherche.

Les questionnaires ont été distribués à un échantillon diversifié de participants occupant différents postes au sein des projets, utilisant à la fois des entretiens en face à face et des questionnaires en ligne, en fonction des contraintes de disponibilité et d'accès aux entreprises interrogées. Les résultats des questionnaires ont été obtenus après de nombreux suivis et ont été analysés.

Un total de 25 questionnaires a été administrés par le biais d'entretiens en face à face, tandis que 35 questionnaires ont été distribués en ligne via Internet et ont été complétés en leur intégralité. En outre, parmi les employés des entreprises contractantes telles que Silex, EXO, Novacom, etc., 50 questionnaires ont été soigneusement sélectionnés, remplis de manière exhaustive et correcte, et analysés

en utilisant la méthode SPSS. Les résultats de ces analyses seront présentés de manière claire et concise sous forme de tableaux et de graphiques dans le quatrième chapitre de cette étude.

En plus de la validité, un questionnaire doit également avoir la fiabilité et la précision requises pour la mesure (Kimberlin and Winterstein, 2008). Un processus de mesure et son instrument associé sont stables lorsque les mêmes résultats et valeurs sont toujours obtenus si la mesure est répétée (Mohajan, 2017).

La méthode du coefficient alpha de Cronbach a été utilisée pour évaluer la fiabilité et la précision de l'outil de mesure dans le cadre de cette étude. Le coefficient alpha de Cronbach est une mesure couramment utilisée pour estimer la cohérence interne ou la fiabilité d'un ensemble d'items ou de questions dans un questionnaire. Un coefficient alpha de Cronbach supérieur à 0,70 est généralement considéré comme acceptable pour la fiabilité d'un questionnaire. Toutefois, un seuil plus élevé de 0,80 ou plus est souvent considéré comme souhaitable pour une fiabilité élevée. Les données recueillies à partir du questionnaire ont été analysées en utilisant la méthode du coefficient alpha de Cronbach pour évaluer la fiabilité de l'outil de mesure dans cette étude. Les résultats obtenus ont révélé un coefficient alpha de Cronbach supérieur à 0,70, ce qui suggère une bonne fiabilité et cohérence des items du questionnaire. L'utilisation du coefficient alpha de Cronbach dans cette étude permet d'estimer la fiabilité de l'outil de mesure de manière rigoureuse et conforme aux normes académiques.

D'après les résultats des tests, la valeur alpha de Cronbach du questionnaire était égale à 0,71, ce qui indique la cohérence interne et la bonne fiabilité du questionnaire. À cet effet, le coefficient de fiabilité a été calculé à l'aide du logiciel SPSS.

## CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 4.1 ANALYSE DESCRIPTIVE DE L'ÉCHANTILLON

Dans ce chapitre, une analyse approfondie des questionnaires recueillis des spécialistes du secteur de l'édification a été faite par un logiciel SPSS en vérifiant les hypothèses de recherche formulées. Le questionnaire utilisé comportait 24 questions conçues pour accumuler des données sur l'effet de BIM sur la gestion des délais, des coûts et la reprise des projets de construction.

Pour garantir la validité et la fiabilité des données reçus, des approches rigoureuses ont été utilisées, surtout la technique de la validité apparente et les jugements des juges. La validité apparente consiste à évaluer la similarité en apparence entre les questions du questionnaire et les concepts qu'elles sont censées mesurer, assurant ainsi leur clarté, leur pertinence et leur adéquation aux objectifs de recherche.

Pour cela, les questions du questionnaire ont été soumises à une évaluation par des experts chevronnés du domaine de l'édification, afin de vérifier leur pertinence et leur adéquation par rapport à l'objet d'étude. Les conclusions des juges ont été recueillis pour valider la qualité des questions du questionnaire, en s'assurant de leur conception rigoureuse et de leur capacité à mesurer de manière précise les concepts de recherche.

Grâce à cette approche méthodologique rigoureuse, la validité et la fiabilité des données collectées à partir du questionnaire sont garanties, renforçant ainsi la crédibilité et la solidité des résultats obtenus lors de l'analyse statistique réalisée à l'aide du logiciel SPSS. Les résultats de cette analyse permettront de parvenir à des conclusions robustes et scientifiquement justifiées concernant l'impact de BIM sur la gestion des délais, des coûts et la reprise des projets de construction et de vérifier de manière rigoureuse les hypothèses de recherche formulées.

#### **4.1.1 Informations organisationnelles**

L'analyse des données relatives au profil du répondant, à son niveau de diplôme, à la taille de l'entreprise dans laquelle il évolue, ainsi qu'au groupe de travail auquel il appartient revêt une importance primordiale dans le contexte de ce questionnaire. L'objectif principal de ces questions est de collecter des informations générales exhaustives sur la structure globale du répondant et son environnement professionnel au sein du projet. Cette approche méthodologique rigoureuse permet de garantir la qualité et la fiabilité des réponses obtenues grâce à la contribution d'experts du domaine. Les résultats obtenus peuvent ainsi être généralisés à d'autres projets.

Les données présentées dans le tableau 4 mettent en lumière la distribution des répondants en fonction de leur responsabilité dans l'exécution des projets. Les résultats obtenus dans cette étude indiquent de manière significative que la majorité des participants occupaient des postes de superviseurs exécutif, d'architectes et de Chef de projet. Plus spécifiquement, les pourcentages des superviseurs exécutifs, des architectes et des chefs de projet s'élevaient chacun à 18% parmi les répondants. Les ingénieurs en structure représentaient quant à eux 16% de l'échantillon. Les ingénieurs en électricité et Ingénieur d'installation représentaient respectivement 8% et 14% des répondants, tandis que les autres responsabilités étaient attribuées à 8% de l'ensemble des participants, selon les données consignées dans le tableau susmentionné.

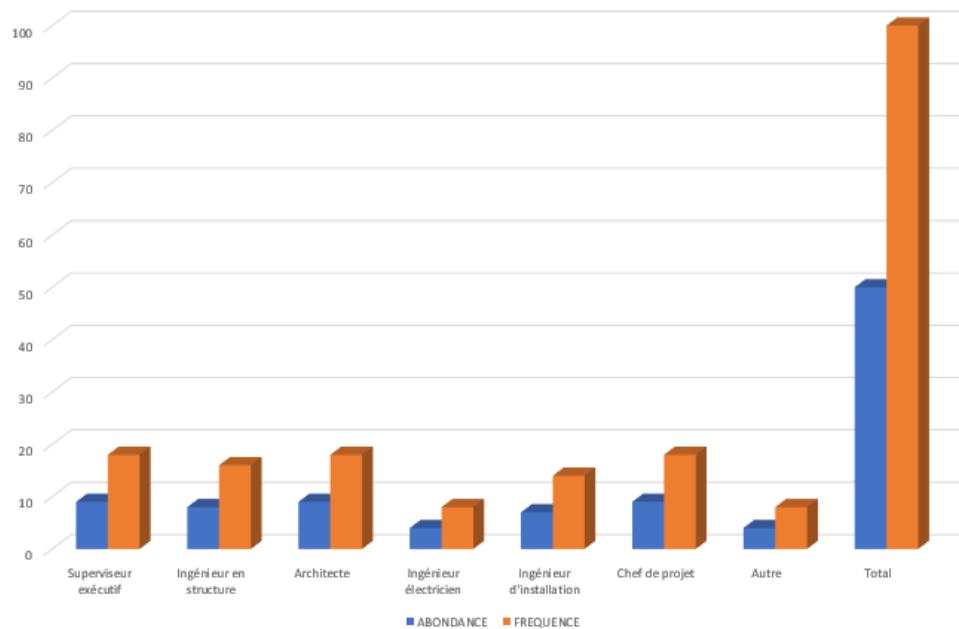
La fréquence fait référence au nombre ou au nombre d'observations d'un événement dans un ensemble de données. En général, la fréquence d'un événement donné est égale au nombre d'observations de cet événement dans l'ensemble de données. La fréquence peut être exprimée en nombre d'observations ou en pourcentage du nombre total d'observations.

Pour calculer le pourcentage de fréquence, le nombre d'observations d'événements est divisé par le nombre total d'observations dans l'ensemble de données, puis multiplié par 100. Mathématiquement, on peut l'illustrer comme suit :

Pourcentage de fréquence = (nombre d'observations d'événements / nombre total d'observations) × 100

**Tableau 4 - Répartition des répondants selon la responsabilité exécutive**

1- Responsabilité exécutive	Abondance	Fréquence
Superviseur exécutif	9	18
Ingénieur en structure	8	16
Architecte	9	18
Ingénieur électricien	4	8
Ingénieur d'installation	7	14
Chef de projet	9	18
Autre	4	8
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>



**Figure 36 - Schématisation de la répartition de la responsabilité exécutive des répondants**

Selon les données tabulées dans le cinquième tableau, il est constaté que la majorité des répondants détiennent à la fois un baccalauréat et une maîtrise. Les résultats obtenus révèlent de manière significative que la moitié des répondants ont complété avec succès un programme de premier cycle, tandis que 40 % d'entre eux ont poursuivi

des études élevées jusqu'à l'obtention d'un diplôme de maîtrise, et 10 % ont atteint le niveau le plus élevé d'éducation universitaire en acquérant un doctorat.

**Tableau 5 - Répartition des répondants selon le niveau d'études**

2- Niveau d'étude	Abondance	Fréquence
Baccalauréat	25	50
Maîtrise	20	40
Doctorat	5	10
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Les données présentées dans le tableau 6 indiquent que la cohorte de répondants ayant une expérience professionnelle de 5 à 10 ans constitue le groupe majoritaire, représentant une proportion significative de 56% de l'échantillon. En outre, d'après les résultats obtenus, il a été constaté que 14% des participants ont indiqué posséder une expérience professionnelle inférieure à 5 ans, tandis que 24% ont rapporté une expérience professionnelle se situant dans la fourchette de 10 à 20 ans. Seulement 6% des répondants ont déclaré avoir une expérience professionnelle de plus de 20 ans.

**Tableau 6 - Répartition des répondants selon la quantité d'expérience de travail**

3. La quantité d'expérience de travail dans le domaine des projets de construction	Abondance	Fréquence
Moins de 5 ans	7	14
5 à 10 ans	28	56
10 à 20 ans	12	24
Plus de 20 ans	3	6
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Le tableau 7 met en évidence les résultats sur la taille des organisations où les répondants exercent leur activité professionnelle. Les données révèlent que la moitié des participants (50 %) sont employés dans des organisations comptant en moyenne entre 30 et 100 employés. De plus, un cinquième des répondants (20 %) rapportent travailler dans des entreprises de plus de 100 employés. Ces résultats indiquent que la taille moyenne des organisations où les répondants exercent leur activité est relativement petite, avec une prédominance d'organisations de taille moyenne (30 à 100 employés).

**Tableau 7 - Répartition des répondants selon le nombre de membres de l'équipe de direction**

4. Le nombre de membres du personnel de l'entreprise ou de l'équipe exécutive dans laquelle vous travaillez	Abondance	Fréquence
3 à 10 personnes	2	4
10 à 30 personnes	13	26
30 à 100 personnes	25	50
Plus de 100 personnes	10	20
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Les données présentées dans le tableau 8 mettent en évidence que la proportion majoritaire des répondants (29,17 %) exerce son activité professionnelle au sein d'organisations qui attribuent une importance significative aux projets de grande envergure. Cette observation suggère que ces entreprises ont tendance à privilégier la réalisation de projets d'envergure importante, plutôt que de s'engager dans des projets de moindre importance, ceux associés à des projets de petite envergure.

**Tableau 8 - Répartition des répondants selon le soutien de l'entreprise aux projets d'édification**

5. L'entreprise pour laquelle vous travaillez soutient souvent lequel des projets de construction suivants	Abondance	Fréquence
Résidentiel	26	27.08
Commercial	10	10.42
Bâtiments de grande importance	28	29.17
Administratif	11	11.46
Industriel	15	15.63
Petits projets de construction	6	6.25
<b>Total</b>	<b>96</b>	<b>100</b>

#### **4.1.2 Examen des évolutions des projets de construction**

Selon les résultats exposés dans le tableau 9, un pourcentage d'environ 22,4 % des répondants ont identifié les facteurs environnementaux incontrôlables comme étant la principale cause des changements survenant dans les projets de construction. En outre, 15,8 % des répondants ont considéré que les facteurs politiques et économiques, ainsi que les facteurs contrôlables, étaient les principales raisons de ces changements.

**Tableau 9 - Répartition des répondants selon les raisons des changements dans les projets d'édification**

<b>6. La principale raison des changements dans les projets de construction</b>	<b>Abondance</b>	<b>Fréquence</b>
Facteurs (environnementaux) incontrôlables	17	22.37
Facteurs politiques et économiques	12	15.79
Facteurs contrôlables (techniques et d'ingénierie)	12	15.79
Facteurs liés à la gestion de l'entreprise	10	13.16
Facteurs liés aux entrepreneurs et aux consultants	9	11.84
Problèmes contractuels entre les deux	11	14.47
Facteurs sociaux et juridiques	5	6.58
<b>Total</b>	<b>76</b>	<b>100</b>

En se fondant sur les données présentées dans le tableau 10, il se dégage de manière indéniable que la surveillance et le contrôle des travaux du projet sont identifiés comme le facteur majeur dans la gestion des changements de projet, avec une mention de 32,8% des répondants. Le deuxième facteur jugé le plus efficace est la gestion des attentes des parties prenantes, citée par 31,1% des répondants.

**Tableau 10 - Répartition des réponses des répondants selon les facteurs influençant le changement du projet**

<b>7- Facteurs efficaces de changement de projet</b>	<b>Abondance</b>	<b>Fréquence</b>
Gestion de chantier de projet	6	9.84
Supervision et contrôle des travaux du projet	20	32.79
Gestion des attentes des parties prenantes	19	31.15
Préparation du plan d'approvisionnement	12	19.67
Rapport de performance	4	6.56
<b>Total</b>	<b>61</b>	<b>100</b>

Selon les données présentées dans le tableau 11, il est possible de constater que la démolition et la réfection sont prédominantes en tant que type de changement dans les projets de construction, avec une proportion significative de 56,4% des répondants mentionnant spécifiquement ce type de modification.

**Tableau 11 - Répartition des répondants selon le type de changement le plus important dans le projet**

<b>8- Le type de changement le plus important dans le projet</b>	<b>Abondance</b>	<b>Fréquence</b>
Augmentation quantitative du travail (changements progressifs)	20	25.64
Réduction quantitative du travail (changements réducteurs)	3	3.85
Destruction et reprise	44	56.41
Modification des spécifications, des normes et du niveau de qualité souhaité	1	1.28
Modification de la portée des travaux	3	3.85
Une combinaison de ce qui précède	7	8.97
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100</b>

En se fondant sur les opinions formulées par les participants dans le tableau 12, il se dégage une prédominance, à hauteur de 60,7%, en faveur de l'idée selon laquelle les changements survenant au cours des phases d'édification et d'exécution du projet sont susceptibles d'entraîner des répercussions défavorables plus marquées que ceux se produisant lors des autres phases du projet.

**Tableau 12 - Répartition des répondants selon les effets négatifs des changements d'étapes du projet**

9- Des changements à quelle étape du projet auront des effets plus négatifs sur son processus ?	Abondance	Fréquence
Études de justification technique et économique	5	8.93
Contrats	1	1.79
Conception de base	4	7.14
Conception détaillée	12	21.43
Construction et mise en place	34	60.71
<b>Total</b>	<b>56</b>	<b>100</b>

En se référant aux informations extraites du tableau 13, il se dégage clairement que les délais engendrés par la rupture de la coordination entre les travaux d'équipement et la main-d'œuvre sont considérés comme l'effet négatif le plus prédominant des changements apportés au projet, d'après l'opinion exprimée par 41,7% des participants interrogés.

**Tableau 13 - Répartition des répondants selon les effets négatifs les plus importants découlant des changements apportés au projet**

10- Les effets négatifs les plus importants des changements apportés au projet	Abondance	Fréquence
Augmentation des coûts	13	18.06
Diminution de la productivité	21	29.17
Retards dans la rupture de la cohérence du travail en matériel et en ressources humaines	30	41.67
Gaspillage de matériaux dû au remaniement	8	11.11
<b>Total</b>	<b>72</b>	<b>100</b>

Les données présentées dans le tableau 14 mettent en évidence que la reprise des travaux de construction de piètre qualité a une incidence majeure sur les coûts de gestion du chantier, d'après 45,3% des participants interrogés.

**Tableau 14 - Répartition des répondants selon les facteurs influençant le changement de projet**

<b>11- Le remaniement des édifications de mauvaise qualité aura le plus grand impact sur le coût de quelle partie ci-dessous</b>	<b>Abondance</b>	<b>Fréquence</b>
Ouvriers	5	9.4
Designer	14	26.4
Gestion d'atelier	24	45.3
Matériaux de construction de machines	8	15.1
Autres facteurs	2	3.8
<b>Total</b>	<b>53</b>	<b>100</b>

Selon les résultats exposés dans le tableau 15, une nette majorité des répondants, soit 74,1% d'entre eux, ont exprimé leur adhésion à l'idée que l'intégration de technologies de pointe et de logiciels innovants pourrait jouer un rôle bénéfique dans la réduction des conséquences néfastes découlant des modifications apportées aux projets.

**Tableau 15 - Répartition des répondants selon les facteurs pour réduire les effets négatifs des changements**

<b>12- Lequel des éléments suivants réduira les effets négatifs des changements apportés aux projets?</b>	<b>Abondance</b>	<b>Fréquence</b>
La compétence de l'équipe d'exécution	11	18.97
Avoir un budget suffisant	3	5.17
Utilisation de nouvelles technologies et de logiciels avancés	43	74.14
Planification de projet illimitée	1	1.72
<b>Total</b>	<b>58</b>	<b>100</b>

#### **4.1.3 Conduite du changement avec le BIM**

Les données présentées dans le tableau 16 montrent une variabilité considérable dans le niveau de connaissance de la technologie BIM parmi les participants de l'étude, reflétant ainsi une disparité notoire dans leur degré de familiarité avec cette innovation technologique. Environ 50 % d'entre eux se considèrent comme relativement familiers avec cette technologie. Parmi ceux-ci, 20 % se disent parfaitement familiers avec la technologie, tandis que 30 % n'ont aucune connaissance préalable de celle-ci

**Tableau 16 - Répartition des répondants selon le niveau de familiarité avec le système BIM**

<b>13- Avez-vous déjà été familiarisé avec le nouveau système de modélisation des informations du bâtiment (BIM) ?</b>	<b>Abondance</b>	<b>Fréquence</b>
Oui, je connais parfaitement	10	20
Oui, je l'ai connu dans une certaine mesure	25	50
Je n'ai aucune connaissance antérieure	15	30
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Selon les données présentées dans le tableau 17, il est observé une variation significative dans le niveau d'adoption des logiciels de cartographie. En effet, le logiciel le plus largement utilisé est AutoCAD, qui représente une part de marché de 29,3%. En revanche, Power Cad est utilisé par seulement 2,2% des répondants, ce qui en fait le logiciel le moins fréquemment utilisé parmi ceux répertoriés.

**Tableau 17 - Répartition des répondants selon l'utilisation des logiciels de cartographie**

14- Quel logiciel utilisez-vous pour dessiner dans le cadre de travaux d'ingénierie personnels et de travaux liés à l'entreprise ?	Abondance	Fréquence
Auto Cad	27	29.35
Power Cad	2	2.17
3D Cad	17	18.48
Revit Architecture	7	7.61
Tekla Structures	19	20.65
Autodesk Navisworks	4	4.35
Autres logiciels	16	17.39
<b>Total</b>	<b>92</b>	<b>100</b>

Après avoir analysé les données du tableau 18, il se dégage une tendance selon laquelle une majorité significative de répondants, soit 64 % d'entre eux, ont exprimé ne pas avoir rencontré un nombre considérable de problèmes et d'enjeux liés à l'exécution de changements de leurs activités professionnelles. Par ailleurs, 8 % des participants ont rapporté une fréquence élevée de ces problèmes, tandis que 28 % ont indiqué être confrontés à ces défis de manière constante.

**Tableau 18 - Répartition des répondants selon les problèmes de changement**

15- Avez-vous rencontré des problèmes et des enjeux liés à la réalisation de changements au cours de votre activité professionnelle ?	Abondance	Fréquence
Oui beaucoup	4	8
Oui, en continu	14	28
Oui mais pas beaucoup	32	64
Non, je n'ai pas rencontré	0	0
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

D'après les données présentées dans le tableau 19, il est possible de constater que la gestion des changements de direction continus tout au long du projet est le problème le plus prédominant auquel la majorité des répondants sont confrontés, avec un pourcentage élevé de 58,7%. En revanche, le manque de coordination entre les plans

est le problème le moins fréquemment signalé, avec seulement 3,2% des répondants indiquant en avoir fait l'expérience.

**Tableau 19 - Répartition des répondants selon le traitement des problèmes d'activité professionnelle**

16- À quel problème avez-vous été confronté jusqu'à présent dans votre activité professionnelle ?	Abondance	Fréquence
Le besoin de changements constants dans les cartes	12	19.05
Problème pour transférer des fichiers dans différents logiciels	3	4.76
Manque de coordination des cartes entre elles	2	3.17
Défaut de coordonner les conditions réelles du projet avec les plans (par exemple, les plans exécutifs)	9	14.29
Faire face aux changements opérationnels continus pendant l'exécution du projet	37	58.73
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>100</b>

Selon les données présentées dans le tableau 20, il est observé qu'une proportion majoritaire de répondants, soit 30,5% de l'échantillon, considère la capacité à apporter rapidement des modifications à chaque étape comme la caractéristique la plus significative du nouveau système BIM. En revanche, la capacité de compréhension de la modélisation, même pour les non-spécialistes, est considérée comme la caractéristique la moins prioritaire, étant mentionnée seulement par 1,9 % des répondants.

**Tableau 20 - Répartition des répondants selon leur attitude vis-à-vis des effets et des capacités du nouveau système BIM**

17- Lequel des effets et des capacités du nouveau système BIM présenté ci-dessus a le plus attiré votre attention ?	Abondance	Fréquence
La modélisation 3D comme base de l'activité de modélisation	3	2.86
Capacité à appliquer rapidement les changements à chaque étape	32	30.48
La possibilité de communication complète et de coordination de différents logiciels	4	3.81
Il est possible de comprendre la modélisation même par des non-experts	2	1.9
La possibilité d'entrer la dimension temporelle dans la conception	19	18.1
La possibilité d'utiliser des services d'analyse étendus	10	9.52
La possibilité d'une meilleure conception basée sur plus de communication et de coordination des différents membres de l'équipe de conception	10	9.52
La possibilité d'extraire le devis automatiquement	5	4.76
Visualisation et possibilité de fournir des images réelles du bâtiment du projet	14	13.33
Il est possible de détecter des points d'interférence tels que des conduits d'air et des poutres de plafond	6	5.71
<b>Total</b>	<b>105</b>	<b>100</b>

Selon les données présentées dans le tableau 21, il a été constaté que le logiciel Revit Architecture est le plus largement connu parmi les répondants, avec une proportion de 29,7%.

**Tableau 21 - Répartition des répondants selon leur familiarité avec les logiciels BIM**

<b>18- Quels logiciels BIM connaissez-vous ou en avez-vous déjà entendu parler ?</b>	<b>Abondance</b>	<b>Fréquence</b>
Revit Architecture	23	<b>29.7</b>
3D Cad-Max	27	<b>25.3</b>
Telka Structures	25	<b>27.5</b>
Magicad	2	<b>2.2</b>
Solibri	2	<b>2.2</b>
Riuska	3	<b>3.3</b>
Navis Works	9	<b>9.9</b>
Aucun	0	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>91</b>	<b>100</b>

D'après les informations exposées dans le tableau 22, il est clairement constaté que la gestion des modifications et des retards de projet est la raison principale et prépondérante avancée par les répondants pour justifier l'adoption de la technologie BIM, avec un consensus marqué de 49,4%.

**Tableau 22 - Répartition des répondants selon les motifs d'utilisation du logiciel BIM**

<b>19- Selon les fonctionnalités étendues des logiciels BIM, laquelle des raisons suivantes est la plus forte pour utiliser ces technologies ?</b>	<b>Abondance</b>	<b>Fréquence</b>
Économiser le temps de mise en œuvre du projet	12	14.46
Économiser le coût de la mise en œuvre du projet	6	7.23
Gestion des modifications et des retards de projet	41	49.4
Augmenter la sécurité dans la construction	5	6.02
Réduire la réclamation initiale dans le projet	2	2.41
Faire un meilleur travail	17	20.48
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>100</b>

Selon les résultats présentés dans le tableau 23, une majorité de répondants, soit 68 % d'entre eux, sont d'avis que l'adoption de la technologie de modélisation dépend des conditions spécifiques de chaque projet. Par ailleurs, 28 % des répondants ont exprimé un fort intérêt à intégrer cette technologie dans leurs projets actuels et futurs, tandis que 4 % ont indiqué leur désaccord total quant à sa mise en œuvre.

**Tableau 23 - Répartition des répondants selon leur volonté d'implémenter la technologie de modélisation BIM dans les projets**

<b>20- Souhaitez-vous que ce système de modélisation soit implanté dans le projet dans lequel vous êtes actuellement impliqué ou dans des projets futurs ?</b>	<b>Abondance</b>	<b>Fréquence</b>
Oui beaucoup	14	28
Cela dépend des conditions du projet	34	68
Non pas du tout	2	4
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

#### **4.1.4 les bases nécessaires à l'utilisation du BIM dans les entreprises de construction**

En se basant sur les données présentées dans le tableau 24, il apparaît que 72 % des répondants estiment que le système BIM, ou Modélisation des Informations du bâtiment, revêt un caractère incontournable et indissociable de la formation organisationnelle. Par ailleurs, 22 % des répondants considèrent cette technologie comme un outil utile mais non essentiel, tandis que 6 % considèrent son utilisation comme inutile.

**Tableau 24 - Répartition des répondants selon la nécessité du système BIM**

<b>21- Est-il nécessaire d'avoir un système BIM comme l'un des outils de travail dans vos formations ?</b>	<b>Abondance</b>	<b>Fréquence</b>
Le système BIM est un membre nécessaire et indissociable des formations organisationnelles	36	72
Le système BIM est un outil utile mais inutile dans les projets	11	22
Il n'est pas nécessaire d'utiliser le BIM dans les projets	3	6
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Les résultats du tableau 25 mettent en évidence le fait que la majorité des participants (80 %) ne disposent pas d'une expertise suffisante en matière de ressources humaines et de cadres compétents pour mettre en œuvre efficacement le système BIM. En outre, 12 % des répondants considèrent que le coût de la formation des équipes travaillant sur des projets BIM constitue un obstacle à l'adoption de cette technologie, tandis que 8 % estiment que les coûts associés aux logiciels et aux ressources périphériques nécessaires à l'exécution de projets BIM freinent son adoption. Les résultats obtenus mettent en évidence les défis auxquels sont confrontées les organisations qui aspirent à intégrer le BIM dans leurs processus de travail. Ils soulignent de manière prépondérante l'importance de disposer de ressources adéquates afin de surmonter efficacement ces obstacles.

**Tableau 25 - Répartition des répondants selon les limites de l'exécution du projet basé sur le système BIM**

22- Quelles sont les limites pour mettre en œuvre vos projets basés sur le système BIM ?	Abondance	Fréquence
Manque d'expertise de la main-d'œuvre et des cadres ayant des connaissances suffisantes pour mettre en œuvre le système BIM	40	80
Frais de formation des groupes de travail en atelier	6	12
Coûts supplémentaires et logiciels et coûts des implémentateurs BIM	4	8
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Les résultats du tableau 26 indiquent que l'utilisation du système BIM est considérée comme appropriée par 12,1 % des répondants pour les projets d'édification de masse, 15,5 % pour les projets d'édification urbaine et routière, et par 72,4 % pour les projets d'édification de bâtiments de grande importance. Ces données mettent en évidence la pertinence de l'utilisation de la technologie BIM pour les projets d'édification d'envergure, tandis que son adéquation pour les projets d'édification de masse et urbaine et routière semble moins évidente selon les répondants interrogés.

**Tableau 26 - Répartition des répondants selon les projets les plus adaptés à l'utilisation du système BIM**

23- Pour lequel des projets de construction considérez-vous que le système BIM soit approprié ?	Abondance	Fréquence
Projets de construction massifs	7	12.07
Projets de construction urbaine et routière	9	15.52
Construction de bâtiments de grande importance	42	72.41
<b>Total</b>	<b>58</b>	<b>100</b>

Selon les données présentées dans le tableau 27, il ressort que la conception est prédominante en tant qu'étape la plus essentielle et la plus bénéfique dans l'utilisation du système BIM, avec une préférence exprimée par une majorité significative de répondants (40,7 %). En revanche, l'étape de planification est perçue comme moins prépondérante, avec seulement 13 % des répondants qui la considèrent comme la moins importante. Les conclusions suggèrent que la phase de conception revêt une importance significative dans l'efficacité de l'implémentation de la technologie BIM, tandis que la planification est perçue comme ayant une importance relative moindre dans ce contexte.

**Tableau 27 - Répartition des répondants selon l'étape la plus utile d'utilisation et d'application du système BIM**

24- À votre avis, laquelle des étapes de la vie du projet est la plus utile et la plus importante pour utiliser le système BIM ?	Abondance	Fréquence
Phase de planification	7	12.96
Étape de conception	22	40.74
Phase de mise en place et de gestion de l'atelier	14	25.93
Phase d'exploitation, de conservation et de maintenance	11	20.37
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>100</b>

## 4.2 TESTS D'HYPOTHÈSES

### La première hypothèse

La définition des conditions préalables et des plates-formes nécessaires à l'application du système BIM dans la gestion de projets d'infrastructures civiles permet de minimiser les modifications et les erreurs dans ces projets.

L'utilisation du système de BIM requiert certaines conditions et plates-formes préalables, notamment le niveau de familiarité des utilisateurs, la nécessité d'utilisation, les restrictions d'exécution et les domaines appropriés pour son application. Selon les résultats du tableau 28, l'analyse statistique indique que le niveau de signification (Sig) du test est inférieur à 0,05, ce qui suggère que la plupart des répondants ont une certaine familiarité avec le nouveau système de BIM. Ces résultats mettent en évidence que la connaissance préalable des répondants vis-à-vis du BIM est significative, et qu'ils sont plutôt familiers avec cette approche.

**Tableau 28 – Détermination du niveau de familiarité avec le nouveau système de BIM**

Se familiariser avec le nouveau système de modélisation des informations du bâtiment (BIM)	Fréquence observée	Fréquence attendue	Différence
Oui, je connais parfaitement	10	16.7	-6.7
Oui, je l'ai connu dans une certaine mesure	25	16.7	8.3
Je n'ai aucune connaissance antérieure	15	16.7	-1.7
Test du chi carré		6.5	
Degrés de liberté		2	
Sig		0.03	

Selon les données présentées dans le tableau, il ressort que la phase de conception est largement considérée comme l'étape prépondérante de l'utilisation du système BIM. En effet, le rang moyen attribué à l'étape de conception est de 2,8, surpassant ainsi les autres étapes mentionnées dans le tableau.

**Tableau 29 - Détermination de l'étape la plus importante de l'utilisation et de l'application du système BIM**

L'étape la plus importante de l'utilisation et de l'application du système BIM	Les résultats
<b>Phase de planification</b>	<b>2.2</b>
<b>Phase de conception</b>	<b>2.8</b>
<b>Phase de mise en place et de gestion de l'atelier</b>	<b>2.5</b>
<b>Phase d'exploitation, de conservation et de maintenance</b>	<b>2.4</b>
<b>Essai de Friedmann</b>	<b>9.4</b>
<b>Degrés de liberté</b>	<b>3</b>
<b>Sig</b>	<b>0.024</b>

D'après les données exposées dans le tableau ci-après, il est observé que les projets de construction de bâtiments de grande envergure sont les plus appropriés pour l'application du système de BIM. D'après les données présentées dans le tableau ci-dessous, il a été observé que la note moyenne des projets d'édification de bâtiments de grande importance est supérieure de 2,6 degrés à celle des autres projets. De plus, le niveau de signification est inférieur à 0,05, ce qui indique une différence statistiquement significative entre les résultats.

**Tableau 30 - Détermination des projets d'édification les plus appropriés pour utiliser le système BIM**

Les projets de construction les plus appropriés pour utiliser le système BIM	Les résultats
<b>Projets de construction massifs</b>	<b>1.6</b>
<b>Projets de construction urbaine et routière</b>	<b>1.6</b>
<b>Construction de bâtiments de grande importance</b>	<b>2.6</b>
<b>Essai de Friedmann</b>	<b>48.2</b>
<b>Degrés de liberté</b>	<b>2</b>
<b>Sig</b>	<b>0.00</b>

L'une des principales limites de la mise en œuvre de projets basés sur le BIM réside dans le déficit de compétences des ressources humaines et des cadres, qui peuvent ne pas posséder les connaissances nécessaires pour mettre en œuvre efficacement ce système. Les résultats du tableau 30 indiquent que le niveau de signification est inférieur à 0,05, ce qui suggère une différence statistiquement significative entre les limitations identifiées et l'une des limitations majeures pouvant entraver la bonne exécution des projets est l'insuffisance de l'expertise au sein du département des ressources humaines.

**Tableau 31 - Détermination des limites de l'exécution du projet sur la base du système BIM**

Le degré de volonté d'utiliser le système de modélisation dans les projets actuels et futurs	Fréquence observée	Fréquence attendue	Différence
<b>Manque d'expertise de la main-d'œuvre et des cadres ayant des connaissances suffisantes pour mettre en œuvre le système BIM</b>	<b>40</b>	<b>16.3</b>	<b>23.7</b>
<b>Coûts de formation des groupes de travail en atelier</b>	<b>6</b>	<b>16.3</b>	<b>-10.3</b>
<b>Coûts supplémentaires et logiciels et coûts des implémenteurs BIM</b>	<b>4</b>	<b>16.3</b>	<b>-13.3</b>
<b>Test du chi carré</b>		<b>51.7</b>	
<b>Degrés de liberté</b>		<b>2</b>	
<b>Sig</b>			<b>0.00</b>

Selon les résultats du test appliqué et présenté dans le tableau ci-dessous, il est observé que la majorité des répondants, soit 36 individus, considèrent que le système BIM est un élément essentiel et indissociable de leur organisation. De plus, le niveau de signification de ces résultats est inférieur à 0,05, ce qui suggère qu'il existe une

différence statistiquement significative dans les réponses des participants concernant la nécessité de la présence du système BIM.

**Tableau 32 – Détermination de l'attitude envers la nécessité du système BIM**

Attitude envers la nécessité du système BIM comme l'un des outils de travail dans les formations	Fréquence observée	Fréquence attendue	Différence
<b>Le système BIM est un membre nécessaire et indissociable des formations organisationnelles</b>	<b>36</b>	<b>16.7</b>	<b>19.3</b>
<b>Le système BIM est un outil utile mais inutile dans les projets</b>	<b>11</b>	<b>16.7</b>	<b>-5.7</b>
<b>Il n'est pas nécessaire d'utiliser le BIM dans les projets</b>	<b>3</b>	<b>16.7</b>	<b>-13.7</b>
<b>Test du chi carré</b>		<b>35.5</b>	
<b>Degrés de liberté</b>		<b>2</b>	
<b>Sig</b>		<b>0.00</b>	

Aussi, selon les données du tableau ci-dessous, selon la majorité des répondants, le niveau de désir pour le système dépend des situations du projet. Il convient de souligner que le niveau de signification dû est inférieur à 0,05, ce qui met en évidence l'existence d'une différence significative entre les réponses.

**Tableau 33 – Détermination de la volonté d'utiliser le système de modélisation dans les projets actuels et avenir**

Le degré de volonté d'utiliser le système de modélisation dans les projets actuels et futurs	Fréquence observée	Fréquence attendue	Différence
<b>Oui beaucoup</b>	<b>14</b>	<b>16.7</b>	<b>-2.7</b>
<b>Cela dépend des conditions du projet</b>	<b>34</b>	<b>16.7</b>	<b>17.3</b>
<b>Non pas du tout</b>	<b>2</b>	<b>16.7</b>	<b>-14.7</b>
<b>Test du chi carré</b>		<b>31.3</b>	
<b>Degrés de liberté</b>		<b>2</b>	
<b>Sig</b>		<b>0.00</b>	

Selon les résultats obtenus, il peut être conclu que la connaissance et l'utilisation des systèmes BIM sont encore limitées dans les domaines et les plates-formes concernées. Bien que la majorité des participants considèrent que ces systèmes sont nécessaires, leur utilisation est conditionnelle aux caractéristiques spécifiques de chaque projet. Les projets de grande envergure sont considérés comme les plus appropriés pour l'adoption du BIM, et la phase de conception est identifiée comme l'application la plus

importante de ce système. Cependant, un défi majeur mentionné est le manque d'expertise en ressources humaines pour utiliser pleinement le potentiel du BIM.

### **La seconde hypothèse**

L'utilisation du système BIM dans un projet offre un environnement de travail sécurisé avec moins d'erreurs, de retouches et de déchets, ce qui entraîne une augmentation du profit et une réduction des coûts. Selon les données du tableau ci-dessous, il est démontré qu'un facteur clé pour atténuer les effets négatifs des changements dans un projet est l'utilisation de nouvelles technologies et de logiciels avancés.

Les résultats du test réalisé, comme indiqué dans le tableau ci-dessous, ont révélé une différence statistiquement significative entre les facteurs étudiés, avec un seuil de signification inférieur à 0,05. En outre, les résultats du test ont montré que la gestion des changements et des retards du projet est la raison principale d'utilisation d'un logiciel BIM, avec un rang de 5,12, ce qui est significativement différent des autres raisons.

Selon les résultats de l'examen de la relation entre les motifs d'utilisation du système BIM et les facteurs qui contribuent à la réduction des effets négatifs des changements, il en ressort que seule l'utilisation de nouvelles technologies et de logiciels avancés sont identifiés comme des facteurs de réduction des effets des changements, tandis que la gestion des changements et des retards de projet est mentionnée comme la principale raison d'utiliser le système BIM. En effet, 77,6% des répondants ont choisi cette option. Par conséquent, il est possible d'affirmer que l'utilisation du système BIM peut effectivement réduire les effets négatifs des changements dans un projet (tableau 35).

**Tableau 34 – Détermination de l'application du logiciel BIM comme réduisant les effets négatifs des modifications du projet**

Facteurs pour réduire les effets négatifs des changements dans les projets	Les résultats	Raisons d'utiliser un logiciel BIM	Les résultats
La compétence de l'équipe d'exécution	2.36	Économiser le temps de mise en œuvre du projet	3.35
Avoir un budget suffisant	2.04	Économiser le coût de la mise en œuvre du projet	3.04
Utilisation de nouvelles technologies et de logiciels avancés	3.64	Gestion des modifications et des retards de projet	5.12
Planification de projet illimitée	1.96	Augmenter la sécurité dans la construction	2.98
-		Réduire la réclamation initiale dans le projet	2.80
-		Faire un meilleur travail	3.71
<b>Essai de Friedmann</b>	<b>87.6</b>	<b>Essai de Friedmann</b>	<b>91.1</b>
Degrés de liberté	3	Degrés de liberté	5
Sig	0.00	Sig	0.00

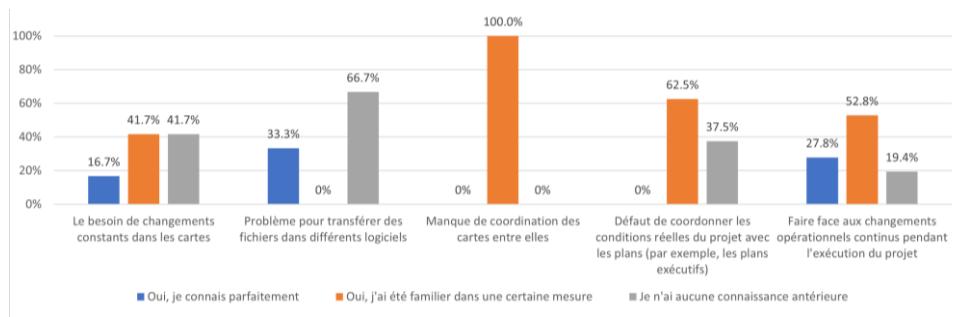
**Tableau 35 – Détermination de la relation entre l'utilisation d'un logiciel BIM et la réduction des effets négatifs des modifications du projet**

Changements Les raisons application du logiciel BIM	Facteurs pour réduire Les effets négatifs	La compétence de l'équipe d'exécution	Avoir un budget suffisant	Utilisation de nouvelles technologies et de logiciels avancés	Planification de projet illimitée
Économiser le temps de mise en œuvre du projet	Pour cent	4	0	22	0
	Sig	0.4	0.4	0.4	0.7
Économiser le coût de la mise en œuvre du projet	Pour cent	0	2	10	0
	Sig	0.2	0.3	0.6	0.8
Gestion des modifications et des retards de projet	Pour cent	16.3	2	77.6	2
	Sig	0.3	0.08	0.001	0.8
Augmenter la sécurité dans la construction	Pour cent	4	0	8	0
	Sig	0.3	0.7	0.5	0.9
Réduire la réclamation initiale dans le projet	Pour cent	0	0	4	0
	Sig	0.6	0.8	0.7	0.9
Faire un meilleur travail	Pour cent	8	4	28	0
	Sig	0.5	0.2	0.4	0.6

Selon les données présentées dans le tableau 36, il est observé que les participants ayant une connaissance modérée ou nulle du système BIM ont rencontré davantage de problèmes liés à l'activité exécutive. En fait, le manque de familiarité avec le système BIM peut augmenter ces problèmes encore plus que l'absence totale de connaissance. Cette relation entre la connaissance du système BIM et les problèmes d'activité exécutive est plus évidente et significative lorsqu'il s'agit de traiter les changements opérationnels continus pendant l'exécution d'un projet, considéré comme des problèmes d'activité opérationnelle. En effet, 52,8% des participants ayant une connaissance limitée du système BIM ont signalé avoir été confrontés à ce type de problème (tableau 36 et figure 37).

**Tableau 36 – Détermination de la relation entre le niveau de familiarité avec le BIM et le traitement des problèmes d'activité exécutive**

Connaissance du BIM Problèmes d'activité professionnelle	Oui, je connais parfaitement	Oui, j'ai été familier dans une certaine mesure	Je n'ai aucune connaissance antérieure	Le test	Sig
Le besoin de changements constants dans les cartes	16.7%	41.7%	41.7%	0.14	0.3
Problème pour transférer des fichiers dans différents logiciels	33.3%	0%	66.7%	0.102	0.4
Manque de coordination des cartes entre elles	0%	100.0%	0%	0.02	0.8
Défaut de coordonner les conditions réelles du projet avec les plans (par exemple, les plans exécutifs)	0%	62.5%	37.5%	0.18	0.2
Faire face aux changements opérationnels continus pendant l'exécution du projet	27.8%	52.8%	19.4%	0.413	0.004

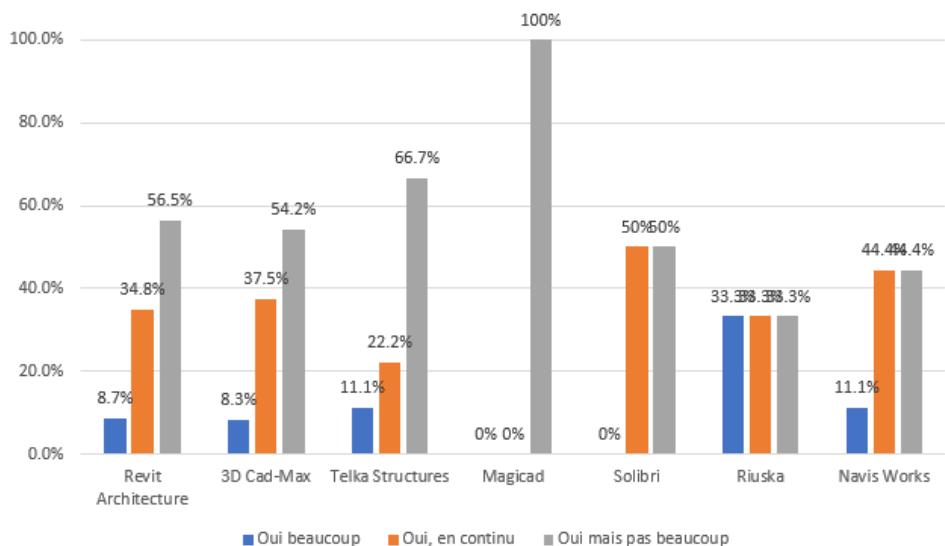


**Figure 37 - Relation entre le niveau de familiarité avec le BIM et les problèmes d'activité exécutive**

Par ailleurs, malgré l'absence de corrélation significative entre le degré de familiarité avec le logiciel BIM et la gestion des problèmes de modification du projet, il existe plusieurs facteurs potentiels qui pourraient expliquer cette constatation ( $\text{Sig} \geq 0,05$ ). Cependant, les données indiquent que le pourcentage de personnes familières avec ces logiciels et qui sont confrontées à des problèmes de modification est très faible. En d'autres termes, la familiarité avec le logiciel BIM semble réduire la fréquence des problèmes liés aux modifications de projet. La familiarité avec le logiciel BIM peut effectivement réduire la survenue de problèmes lors de la réalisation de modifications dans un projet (tableau 37 et figure 38). Cela est corroboré par les résultats obtenus, ce qui soutient l'hypothèse 2 selon laquelle l'utilisation du système BIM peut contribuer à la réduction des erreurs, du gaspillage et à l'amélioration de l'efficacité dans le contexte étudié.

**Tableau 37 – Détermination de la relation entre le niveau de familiarité avec le logiciel BIM et la capacité de faire face aux problèmes de faire des changements**

Connnaissance du logiciel BIM \ Traiter les problèmes liés à la réalisation de changement	Oui beaucoup	Oui, en continu	Oui mais Pas beaucoup	Test	Sig
<b>Revit Architecture</b>	<b>8.7%</b>	<b>34.8%</b>	<b>56.5%</b>	<b>0.17</b>	<b>0.2</b>
<b>3D Cad-Max</b>	<b>8.3%</b>	<b>37.5%</b>	<b>54.2%</b>	<b>0.22</b>	<b>0.11</b>
<b>Telka Structures</b>	<b>11.1%</b>	<b>22.2%</b>	<b>66.7%</b>	<b>0.01</b>	<b>0.9</b>
<b>Magicad</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>0.14</b>	<b>0.3</b>
<b>Solibri</b>	<b>0%</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>	<b>0.052</b>	<b>0.7</b>
<b>Riuska</b>	<b>33.3%</b>	<b>33.3%</b>	<b>33.3%</b>	<b>0.209</b>	<b>0.15</b>
<b>Navis Works</b>	<b>11.1%</b>	<b>44.4%</b>	<b>44.4%</b>	<b>0.21</b>	<b>0.14</b>



**Figure 38 - Relation entre le niveau de familiarité avec le logiciel BIM et faire face aux problèmes de faire des changements**

## CHAPITRE 5 : CONCLUSION

### 5.1 CONCLUSION GÉNÉRALE

L'un des défis de taille pour les employeurs est l'édification de bâtiments de qualité dans des délais restreints et à moindre coût. Ceci affecte les consultants, les entrepreneurs, les architectes, les ingénieurs civils, de structures et d'installations, et aussi les cadres supérieurs de gestion de projet et d'édification. Grâce à l'application de nouvelles méthodes pendant la phase d'exploitation des projets, on peut réaliser l'amélioration de l'efficacité de l'édification. Une technologie de pointe dans l'industrie de l'édification qui a permis à ces professionnels de relever ces défis est BIM.

L'objectif de cette étude était de déterminer les écarts de temps et de coûts résultant des modifications et des retouches dans les projets des entreprises contractantes, en examinant les facteurs liés à l'entrepreneur qui peuvent entraîner ces modifications. Une étude a été réalisée pour évaluer l'adoption de BIM dans l'industrie de la construction, en se penchant sur les exigences et les plates-formes nécessaires à l'application de cette technologie pour gérer les changements et les retouches, ainsi que pour prévenir les écarts de temps et de coûts. Dans le cadre de cette étude, une méthodologie de recherche par sondage a été préparée afin de recueillir des informations sur l'utilisation du BIM dans le secteur de la construction. Cette étude a été conduite en interrogeant des professionnels de divers niveaux de qualification employés dans d'importantes entreprises du secteur de la construction. Des entretiens ont été réalisés en personne ainsi qu'en ligne pour évaluer leur degré de familiarité avec cette technologie. Un questionnaire a également été utilisé comme outil supplémentaire pour collecter des données. L'objectif principal de cette étude consistait à prendre en considération la tendance croissante à l'utilisation de la technologie BIM et du nouveau système de modélisation dans les projets de construction. L'impact de cette utilisation sur la gestion du temps et des coûts, ainsi que sur la gestion des modifications dans les projets de construction, a été enquêté.

Certaines des fonctionnalités essentielles de ce système ont été présentées, dans le but de proposer des solutions visant à promouvoir davantage l'adoption de cette technologie dans les projets de construction.

## 5.2 LES RÉSULTATS OBTENUS CONCERNANT L'IMPACT DE BIM SUR LA GESTION DES DÉLAIS, DES COÛTS ET DES REPRISES DANS LES PROJETS DE CONSTRUCTION

Les résultats obtenus à partir de l'analyse statistique inférentielle des questionnaires distribués selon la méthode de recherche par sondage ont permis de mettre en lumière les conclusions suivantes.

- ✓ Il est vrai que la plupart des ingénieurs, quel que soit leur domaine de spécialisation, utilisent fréquemment un logiciel largement répandu, appelé AutoCAD, pour leurs travaux d'ingénierie. Cependant, ce logiciel est considéré comme traditionnel et obsolète en raison de sa capacité limitée à représenter les dessins en deux dimensions uniquement. Seul un faible pourcentage d'ingénieurs utilise, et est familier, avec d'autres logiciels offrant des fonctionnalités d'imagerie en trois dimensions pour la modélisation et la conception 3D dans leur pratique d'ingénierie.
- ✓ Les répondants ont évalué les facteurs incontrôlables et contrôlables, ainsi que les facteurs politiques et économiques, comme étant les raisons les plus significatives des changements dans les projets de construction. Ces résultats suggèrent que des ajustements et des modifications sont susceptibles de se produire dans la plupart des grands projets. Selon les répondants, les phases de conception, d'exécution et de lancement du projet sont considérées comme les phases les plus propices aux changements.
- ✓ Selon les participants de l'étude, les retards sont identifiés comme le principal effet négatif des modifications apportées aux projets de construction. Ensuite, la réduction de la productivité est mentionnée.
- ✓ Selon les résultats de l'analyse statistique inférentielle basée sur les questionnaires distribués dans le cadre d'une méthode de recherche par sondage, les ingénieurs et les experts estiment que l'utilisation de nouvelles

technologies et de logiciels avancés constitue le facteur le plus crucial pour atténuer les effets négatifs des changements. Les caractéristiques jugées les plus importantes et les plus attrayantes incluent la capacité à apporter rapidement des modifications à chaque étape, l'intégration de la dimension temporelle dans la conception et l'illustration, ainsi que la capacité de présenter des images réalistes du projet de construction.

- ✓ Les travailleurs au sein d'entreprises, y compris les ingénieurs, peuvent être confrontés à des problèmes et défis en raison de changements dans leurs activités professionnelles. Il est primordial de bien appréhender les défis rencontrés par les travailleurs, notamment les ingénieurs, afin de mieux les gérer et de limiter leur répercussion sur les projets en cours.
- ✓ Selon les experts, l'adoption de la technologie de BIM peut être bénéfique pour la gestion des modifications et des retards de projet, ainsi que pour l'amélioration de la qualité du travail. Cela permettrait de maximiser l'efficacité des projets d'édification et de réduire les risques d'erreurs et d'erreurs.
- ✓ L'utilisation de plans et de cartes dans le contexte des projets de construction peut être sujette à des problèmes, tels que la nécessité fréquente de modifications. Cette exigence de changements constants peut entraîner des retards et des coûts supplémentaires dans la réalisation des projets. Il est donc essentiel d'examiner les alternatives aux méthodes traditionnelles de cartographie et de trouver des solutions plus efficaces pour la gestion des projets de construction.
- ✓ Par ailleurs, les résultats obtenus en ce qui concerne le niveau de coordination entre les membres de l'équipe de conception dans le cadre de projets de construction sont préoccupants. En effet, la majorité des personnes interrogées ont signalé que la coordination entre les différents membres de l'équipe était plutôt faible à modérée.
- ✓ Une enquête a été menée afin d'évaluer le niveau de familiarité des ingénieurs avec divers logiciels de BIM. Les résultats obtenus à cette question étaient en

partie attendus, car certains ingénieurs ne sont pas suffisamment familiers avec ces logiciels. Les investigations réalisées ont révélé que pratiquement tous les employés, qu'ils soient travailleurs ou ingénieurs, au sein des entreprises de construction étudiées, ont pris conscience de l'importance et de la valeur du BIM en tant que nouveau système de modélisation.

- ✓ En outre, une grande partie de la communauté professionnelle perçoit le BIM comme une approche innovante et prometteuse pour aborder les défis complexes liés à la construction. Le BIM offre de nouvelles perspectives et compétences pour résoudre les problématiques rencontrées dans le cadre des projets de construction.
- ✓ La principale limitation à la mise en place du système BIM réside dans le manque d'expertise de la main-d'œuvre et dans la méconnaissance des flux de travail nécessaires à sa mise en œuvre.
- ✓ Les experts ont identifié les bâtiments de grande envergure comme les projets les plus appropriés pour l'utilisation du BIM.

### 5.3 RECHERCHE D'HYPOTHÈSES

Les questions du questionnaire ont été élaborées en cohérence avec les objectifs et les hypothèses de recherche. À la suite de l'analyse des données recueillies, les hypothèses ont été vérifiées et les résultats ont confirmé la validité des deux hypothèses de recherche.

#### **La première hypothèse**

La définition des prérequis et des fondements nécessaires à l'implémentation du système BIM dans la gestion de projets de construction civile vise à minimiser les modifications et les erreurs engendrées par ces projets. Les résultats obtenus révèlent que les plateformes et les domaines d'application du BIM sont généralement bien appréhendés, et que la majorité des répondants considèrent ce système comme indispensable. Toutefois, l'adoption effective du BIM dépend des conditions spécifiques à chaque projet. Les projets d'envergure, tels que la construction de bâtiments de grande ampleur, sont considérés comme particulièrement propices à

l'utilisation du BIM. D'un autre côté, la phase de conception est perçue comme étant cruciale pour l'application du BIM. Néanmoins, le manque d'expertise en matière de ressources humaines constitue une limitation significative à l'exécution de ce système.

### **La seconde hypothèse**

L'intégration du système BIM dans un projet permet d'établir un environnement de travail sécurisé, caractérisé par une réduction substantielle des erreurs, des ajustements et des déchets, ce qui peut entraîner une amélioration des bénéfices et une diminution des coûts. Les résultats obtenus mettent en évidence que l'utilisation de nouvelles technologies et de logiciels avancés constitue le facteur déterminant par excellence pour atténuer les effets négatifs des changements de projet. Ainsi, l'adoption du système BIM peut également contribuer à minimiser les impacts défavorables des changements de projet. Les conclusions des résultats obtenus confirment l'hypothèse 2, portant sur l'effet bénéfique de l'utilisation du système BIM sur la réduction des erreurs, du gaspillage et sur l'optimisation de l'efficacité.

### **5.4 CONCLUSION**

L'utilisation de BIM connaît une progression inévitable à l'échelle mondiale, malgré les défis auxquels cette nouvelle technologie est confrontée. Les entreprises au premier plan et les bureaux d'architecture anticipent cette transformation de l'industrie de la construction en se dotant des outils nécessaires et en adoptant le BIM. Parallèlement, de nombreuses grandes entreprises de logiciels développent l'infrastructure requise pour faciliter cette transition. La prise de conscience du coût et de l'impact significatif de l'approche BIM sur l'amélioration de la productivité des projets et la réduction des coûts a été observée dans de nombreux pays. Par conséquent, il est impératif que cette approche de conception, axée sur les valeurs, soit prise en compte de manière consciente et rapide par les experts du domaine de la construction au Canada. En même temps, il est évident que la jeune génération de concepteurs est plus en phase avec cette approche et joue un rôle crucial dans son adoption.

## PROPOSITIONS POUR DES RECHERCHES FUTURES

Afin de poursuivre les recherches sur le sujet abordé dans ce mémoire, il serait pertinent d'entreprendre une étude approfondie sur la connaissance et l'adoption de la technologie de BIM parmi les ingénieurs travaillant pour des entreprises de renommée mondiale.

- ✓ Une évaluation exhaustive des logiciels les plus pratiques et conviviaux pour la mise en œuvre de la technologie BIM permettrait de déterminer la meilleure option pour son utilisation.
- ✓ La modélisation des projets de construction à l'aide de la technologie BIM est un domaine d'étude crucial, notamment dans le cadre de projets nationaux en cours. Cela permettrait une meilleure visualisation et gestion des projets de construction, optimisant ainsi leur efficacité grâce à l'utilisation du BIM.
- ✓ En outre, il serait pertinent d'examiner et d'évaluer les projets réalisés dans différentes régions du monde grâce à l'utilisation de la technologie BIM, afin de déterminer comment ces projets pourraient être appliqués dans des projets de construction locaux. Cette démarche permettrait d'identifier les meilleures pratiques et de maximiser les avantages de l'utilisation du BIM dans les projets de construction nationaux.
- ✓ L'évaluation de l'effet de la combinaison du BIM et de la réalité virtuelle (VR) sur la réduction des erreurs de conception, l'amélioration de la qualité de la construction, l'augmentation de la productivité et la réduction des coûts constitue un domaine de recherche d'une grande importance dans le domaine de la construction.

## ANNEXES

### Annexe A

Bonjour et veuillez prendre un moment pour répondre à ce questionnaire.

Le questionnaire ci-dessous est composé de 24 questions simples, conçues dans le but d'étudier l'utilisation du BIM (Building Information Modeling) dans les entreprises contractantes pour la gestion du temps et des coûts liés aux changements et aux retouches dans les projets de construction. Cette étude vise à introduire le système et la technologie de conception, de configuration et de modélisation des informations du bâtiment, connu sous le nom de BIM, tout en abordant les questions concernant les changements de projets et le niveau d'adoption de cette technologie dans l'industrie de la construction. Nous portons un intérêt particulier à l'étude de la gestion des coûts et des délais dans les projets. Votre coopération est sollicitée pour répondre à ces questions, après avoir pris le temps de vous familiariser avec les détails liés à ce système. Il est essentiel de noter que ces questions sont liées à mon mémoire de maîtrise dans le domaine de la gestion de projet, et les résultats seront présentés dans ce mémoire. Votre coopération et votre attention sont chaleureusement appréciées.

Cordialement,  
Masoumeh Amiri

## **A) Présentation du système de modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

### **1- Qu'est-ce que le système de modélisation des informations du bâtiment ou BIM ?**

L'un des principaux indicateurs des projets de construction est l'apparition de nombreux changements à toutes les étapes de la construction, et ces changements peuvent exister dans n'importe quel projet de la phase d'étude à la phase de conception. Du fait que ces décisions sont prises dans différentes parties du projet et ne tiennent pas compte des besoins des autres parties, cela peut entraîner un manque d'intégration entre les différentes parties impliquées dans un projet de construction. Ce manque d'intégration entre les différentes parties, en plus de créer des incohérences, entraînera un gaspillage d'énergie, des coûts, une augmentation du temps de fonctionnement et une diminution globale de l'efficacité du projet.

Le système de modélisation des informations du bâtiment (BIM) est un exemple des derniers modèles 3D modernes pour simuler le processus de planification, de conception, de construction et d'exploitation dans les projets de construction qui sont utilisés aujourd'hui dans de nombreux pays développés du monde. L'industrie de la construction est utilisée (pour pour le dire plus simplement : c'est-à-dire qu'au lieu d'une cartographie conventionnelle, un exemple de modèle tridimensionnel comprenant l'espace, l'espace et le temps est réalisé dans la conception, qui est partagé entre tous les groupes impliqués dans un projet de construction est utilisé et son rôle principal est de créer une unité entre les différentes équipes impliquées dans ce projet à toutes les étapes de la construction. Ce système aide les architectes, les ingénieurs et les entrepreneurs à construire d'abord ce qui va être construit complètement dans un environnement virtuel, et en cas de problèmes éventuels à n'importe quelle étape de la construction, comme la conception, la mise en œuvre ou l'utilisation, à surmonter ces problèmes.

Il est clair que le temps et le coût sont deux facteurs importants pour déterminer le succès d'un projet de construction, et toutes les activités de gestion de la construction, basées sur les documents contractuels, dépendent des deux catégories de plans et devis. Dans la méthode conventionnelle de gestion de la construction, les plans d'exécution des différents groupes de conception sont préparés séparément mais en coordination les

uns avec les autres. Les cartes pertinentes sont en deux dimensions et même les modèles CAD en trois dimensions n'est pas en mesure d'identifier les erreurs qu'elles contiennent et ne peuvent pas corriger automatiquement les erreurs liées à la situation existante dans d'autres endroits. Les problèmes de cela se poseront lors de la mise en œuvre et seront un problème pour l'entrepreneur du projet. Manque de coordination des plans, erreurs et retouches, modifications demandées par l'employeur lors de l'exécution, etc., enfin, en plus d'augmenter le coût de la construction, entraînent une diminution de la qualité du travail.

L'apparition de retouches a des effets négatifs sur les aspects fonctionnels du projet, tels que le temps, le coût et la satisfaction des parties prenantes. Trois éléments liés aux retouches, notamment la perte de capital, de temps et la baisse du moral des employés, ont un effet néfaste important sur la coordination et la productivité du projet. Il est raisonnable de supposer qu'en minimisant les retouches, non seulement l'entrepreneur bénéficie d'une augmentation potentielle des marges bénéficiaires, mais le propriétaire bénéficie également d'une livraison plus rapide du projet.

Alors que les projets deviennent de plus en plus complexes et que les propriétaires exigent une livraison plus rapide et une plus grande productivité, les entrepreneurs doivent adopter de nouvelles méthodes de gestion de projets. La modélisation des informations du bâtiment (BIM), également appelée technologie de modélisation multidimensionnelle ou de prototypage virtuel, représente un développement révolutionnaire qui a accéléré la transformation de l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction. Le BIM est une technologie émergente qui se répand rapidement, mais son adoption généralisée reste limitée, ce qui entraîne un manque de recherche suffisante dans ce domaine.

**2- Les principales différences entre les modèles bidimensionnels tels que  
Système CAD 2D et le système BIM**

<b>Système CAD 2D</b>	<b>Système BIM 3D</b>
<p>1. Dans le système bidimensionnel, l'introduction du sujet est déterminée en utilisant différentes vues bidimensionnelles (telles que le plan, la vue, etc.) sous la forme d'un ensemble de lignes, etc.</p> <p>2. Les informations du système bidimensionnel ne comprennent que des données graphiques et n'ont pas beaucoup de sens. Par exemple, dans une carte, le mur est un ensemble de lignes et n'a pas de sens réel.</p> <p>3. Les vues, les cartes et les différents plans d'un volume en mode bidimensionnel ne sont pas liés les uns aux autres, et en changeant l'une des cartes, les modifications nécessaires dans d'autres cartes doivent être mises en œuvre manuellement.</p> <p>4. En raison du manque de connexion entre les différentes parties, différentes cartes telles que les installations, les structures, etc., doivent être vérifiées en permanence afin que le processus de changement soit pleinement pris en compte.</p> <p>5. Dans les cartes bidimensionnelles, seules les informations relatives à l'expression graphique du sujet sont déterminées, et il n'est pas possible de visualiser la construction réelle du projet.</p>	<p>1. L'introduction du sujet dans ce système est présentée à l'aide d'un modèle volumétrique significatif dans un environnement virtuel, et il est possible d'extraire différents plans et vues de l'ensemble du modèle.</p> <p>2. Dans ce système, les différentes parties sont étroitement liées les unes aux autres, et un changement dans l'une entraîne des modifications dans d'autres éléments connexes.</p> <p>3. Dans le système BIM, qui est basé sur l'intelligence du modèle, la vérification des différentes pièces dues aux changements se fait en utilisant l'intelligence du modèle et son intégrité.</p> <p>4. Dans ce système, chacun des composants contient des informations et des concepts opérationnels réels (tels que les murs, les espaces, les colonnes, etc.). La visualisation et la possibilité d'obtenir des représentations réalistes du bâtiment du projet sont d'autres caractéristiques du système 3D.</p> <p>5. Une maquette BIM fournit toutes les informations liées au bâtiment, y compris les données physiques et fonctionnelles, sous la forme d'une banque intégrée et intelligente.</p>

## Annexe B

Voici le texte du questionnaire. Je vous demande de répondre attentivement aux questions et de coopérer avec moi dans l'établissement d'une structure organisée pour mener à bien le mémoire.

### **B-1) Questions de la première partie : Informations organisationnelles**

- 1- Quelle est votre responsabilité exécutive dans le projet actuel ?
  - Superviseur exécutif
  - Ingénieur en structure
  - Architecte
  - Ingénieur électricien
  - Ingénieur d'installation
  - Chef de projet
  - Autre
  
- 2- Quel est votre diplôme ?
  - Baccalauréat
  - Maîtrise
  - Doctorat
  
- 3- Combien d'années d'expérience de travail avez-vous dans des projets d'édification ?
  - Moins de 5 ans
  - 5 à 10 ans
  - 10 à 20 ans
  - Plus de 20 ans
  
- 4- Combien de personnes y a-t-il dans l'entreprise ou l'équipe d'exécutive dans laquelle vous travaillez ?
  - 3 à 10 personnes
  - 10 à 30 personnes
  - 30 à 100 personnes
  - Plus de 100 personnes
  
- 5- Lequel des projets d'édification suivants l'entreprise pour laquelle vous travaillez soutient-elle souvent ? (Si nécessaire, vous pouvez vous référer à plusieurs options)
  - Résidentiel
  - Commercial
  - Bâtiments de grande importance
  - Administratif
  - Industriel
  - Petits projets de construction

### **B-2) Questions de la seconde partie : Examen des évolutions des projets de construction**

- 6- À votre avis, quelle pourrait être la principale raison des changements dans les projets de construction ? (Si nécessaire, vous pouvez vous référer à plusieurs options.)
- Facteurs (environnementaux) incontrôlables
  - Facteurs politiques et économiques
  - Facteurs contrôlables (techniques et d'ingénierie)
  - Facteurs liés à la gestion de l'entreprise
  - Facteurs liés aux entrepreneurs et aux consultants
  - Problèmes contractuels entre les deux
  - Facteurs sociaux et juridiques
- 7- Le plus grand changement dans le projet est généralement appliqué en fonction de quels facteurs suivants ? (Si nécessaire, vous pouvez indiquer plusieurs options.)
- Gestion de chantier de projet
  - Supervision et contrôle des travaux du projet
  - Gestion des attentes des parties prenantes
  - Préparation du plan d'approvisionnement
  - Rapport de performance
- 8- À votre avis, parmi les éléments suivants, quel type de changement est le plus important dans le projet ? (Si nécessaire, vous pouvez indiquer plusieurs options.)
- Augmentation quantitative du travail (changements progressifs)
  - Réduction quantitative du travail (changements réducteurs)
  - Destruction et reprise
  - Modification des spécifications, des normes et du niveau de qualité souhaité
  - Modification de la portée des travaux
  - Une combinaison de ce qui précède
- 9- Des changements à quelle étape du projet auront le plus d'effets négatifs sur son déroulement ? (Si nécessaire, vous pouvez mentionner plusieurs options.)
- Études de justification technique et économique
  - Contrats
  - Conception de base
  - Conception détaillée
  - Construction et mise en place
- 10- Quels sont les effets négatifs les plus importants des changements apportés au projet ? (Si nécessaire, vous pouvez mentionner plusieurs options.)
- Augmentation des coûts
  - Diminution de la productivité
  - Retards dans la rupture de la cohérence du travail en matériel et en ressources humaines
  - Gaspillage de matériaux dû au remaniement

11- La reprise de constructions de mauvaise qualité aura le plus grand impact sur le coût de quelle partie ci-dessous ? (Si nécessaire, vous pouvez indiquer plusieurs options.)

- Ouvriers
- Designer
- Gestion d'atelier
- Matériaux de construction de machines
- Autres facteurs

12- Lequel des éléments suivants permettra de réduire les effets négatifs des changements dans les projets ? (Si nécessaire, vous pouvez mentionner plusieurs options.)

- La compétence de l'équipe d'exécution
- Avoir un budget suffisant
- Utilisation de nouvelles technologies et de logiciels avancés
- Planification de projet illimitée

### **B-3) Questions de la troisième partie : conduite du changement avec le BIM**

13- Avant ce questionnaire, étiez-vous déjà familiarisé avec le nouveau système de BIM ?

- Oui, je connais parfaitement
- Oui, je l'ai connu dans une certaine mesure
- Je n'ai aucune connaissance antérieure

14- En général, quel logiciel utilisez-vous pour dessiner dans le cadre de travaux personnels et professionnels ? (Si nécessaire, vous pouvez vous référer à plusieurs options)

- Auto Cad
- Power Cad
- 3D Cad
- Revit Architecture
- Tekla Structures
- Autodesk Navisworks
- Autres logiciels

15- Avez-vous rencontré des problèmes et des enjeux liés à la réalisation de changements au cours de votre activité professionnelle ?

- Oui beaucoup
- Oui, en continu
- Oui mais pas beaucoup
- Non, je n'ai pas rencontré

16- À quel problème avez-vous été confronté jusqu'à présent dans votre activité professionnelle ? (Si nécessaire, vous pouvez vous référer à plusieurs options)

- Le besoin de changements constants dans les cartes
- Le besoin de changements constants dans les cartes

- Problème pour transférer des fichiers dans différents logiciels
  - Manque de coordination des cartes entre elles
  - Défaut de coordonner les conditions réelles du projet avec les plans (par exemple, les plans exécutifs)
  - Faire face aux changements opérationnels continus pendant l'exécution du projet
- 17- Lequel des effets et capacités du nouveau système BIM présenté ci-dessus a le plus attiré votre attention ? (Si nécessaire, vous pouvez vous référer à plusieurs options)
- La modélisation 3D comme base de l'activité de modélisation
  - Capacité à appliquer rapidement les changements à chaque étape
  - La possibilité de communication complète et de coordination de différents logiciels
  - Il est possible de comprendre la modélisation même par des non-experts
  - La possibilité d'entrer la dimension temporelle dans la conception
  - La possibilité d'utiliser des services d'analyse étendus
  - La possibilité d'une meilleure conception basée sur plus de communication et de coordination des différents membres de l'équipe de conception
  - La possibilité d'extraire le devis automatiquement
  - Visualisation et possibilité de fournir des images réelles du bâtiment du projet
  - Il est possible de détecter des points d'interférence tels que des conduits d'air et des poutres de plafond
- 18- Quels logiciels BIM connaissez-vous ou en avez-vous déjà entendu parler ?  
(Si nécessaire, vous pouvez vous référer à plusieurs options)
- Architecture Revit
- Revit Architecture
  - 3D Cad-Max
  - Telka Structures
  - Magicad
  - Solibri
  - Riuska
  - Navis Works
  - Aucun
- 19- Selon les fonctionnalités étendues des logiciels BIM, laquelle des raisons suivantes est la plus forte pour utiliser ces technologies ? (Si nécessaire, vous pouvez indiquer plusieurs options)
- Économiser le temps de mise en œuvre du projet
  - Économiser le coût de la mise en œuvre du projet
  - Gestion des modifications et des retards de projet
  - Augmenter la sécurité dans la construction
  - Réduire la réclamation initiale dans le projet
  - Faire un meilleur travail
- 20- Souhaitez-vous que ce système de modélisation soit implémenté dans le projet dans lequel vous êtes actuellement impliqué ou dans des projets futurs ?

- Oui beaucoup
- Cela dépend des conditions du projet
- Non, pas du tout

#### **B-4) Questions de la quatrième section : les bases nécessaires à l'utilisation du BIM dans les entreprises de construction**

21- Est-il nécessaire d'avoir le système BIM comme l'un des outils de travail dans vos formations ?

- Le système BIM est un membre nécessaire et indissociable des formations organisationnelles
- Le système BIM est un outil utile mais inutile dans les projets
- Il n'est pas nécessaire d'utiliser le BIM dans les projets

22- Quelles sont les limites pour mettre en œuvre vos projets basés sur le système BIM ?

- Manque d'expertise de la main-d'œuvre et des cadres ayant des connaissances suffisantes pour mettre en œuvre le système BIM
- Frais de formation des groupes de travail en atelier
- Coûts supplémentaires et logiciels et coûts des implémenteurs BIM

23- Pour lequel des projets de construction considérez-vous que le système BIM soit approprié ?

(Si nécessaire, vous pouvez vous référer à plusieurs options)

- Projets de construction massifs
- Projets de construction urbaine et routière
- Construction de bâtiments de grande importance

24- À votre avis, laquelle des étapes de la vie du projet est la plus utile et la plus importante pour utiliser le système BIM ?

- Phase de planification
- Étape de conception
- Phase de mise en place et de gestion de l'atelier
- Phase d'exploitation, de conservation et de maintenance

## RÉFÉRENCES

- ABBAS, A., DIN, Z. U. & FAROOQUI, R. 2016. Integration of BIM in construction management education: an overview of Pakistani Engineering universities. *Procedia Engineering*, 145, 151-157.
- AL-SAGGAF, A. & JRADE, A. 2015. Benefits of integrating BIM and GIS in construction management and control.
- ALIZADEHSALEHI, S., HADAVI, A. & HUANG, J. C. 2020. From BIM to extended reality in AEC industry. *Automation in Construction*, 116, 103254.
- ANAND, P., SEKHAR, C., YANG, J. & CHEONG, D. Improving The Accuracy Of Building Energy Simulation Using Real-Time Occupancy Schedule And Metered Electricity Consumption Data. Proceedings of the 2017 ASHRAE Annual Conference, Singapore, 2017.
- ASL, M. R., ZARRINMEHR, S., BERGIN, M. & YAN, W. 2015. BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. *Energy and Buildings*, 108, 401-412.
- AZIZ, F., RANKIN, J. H. & WAUGH, L. M. Information management research in the construction industry. Proc., 3rd Construction Specialty Conf, 2011. 2229-2238.
- BANK, L. C., MCCARTHY, M., THOMPSON, B. P. & MENASSA, C. C. Integrating BIM with system dynamics as a decision-making framework for sustainable building design and operation. proceedings of the first international conference on sustainable urbanization (ICSU), 2010. Citeseer, 15-17.
- BARISON, M. B. & SANTOS, E. T. BIM teaching strategies: an overview of the current approaches. Proc., ICCBCE 2010 international conference on computing in civil and building engineering, 2010.
- BARLISH, K. & SULLIVAN, K. 2012. How to measure the benefits of BIM—A case study approach. *Automation in construction*, 24, 149-159.
- BOTON, C., FORGUES, D. & HALIN, G. 2017. Les enjeux liés à l'intégration de l'approche BIM de modélisation des données du bâtiment à l'enseignement universitaire: cas d'une école d'ingénierie. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 14, 5-23.
- BRIOSO, X. 2015. Integrating ISO 21500 guidance on project management, lean construction and PMBOK. *Procedia Engineering*, 123, 76-84.
- BRYDE, D., BROQUETAS, M. & VOLM, J. M. 2013. The project benefits of building information modelling (BIM). *International journal of project management*, 31, 971-980.
- CHAU, K. W., ANSON, M. & ZHANG, J. 2005. 4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development. *Automation in construction*, 14, 512-524.
- CHEAITOU, A., LARBI, R. & AL HOUSANI, B. 2019. Decision making framework for tender evaluation and contractor selection in public organizations with risk considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 68, 100620.
- CHEGU BADRINATH, A., CHANG, Y. T. & HSIEH, S. H. 2016. A review of tertiary BIM education for advanced engineering communication with visualization. *Visualization in Engineering*, 4, 1-17.
- CHELSON, D. E. 2010. *The effects of building information modeling on construction site productivity*, University of Maryland, College Park.
- CHEN, L. & LUO, H. 2014. A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in construction*, 46, 64-73.

- CHENG, H.-M., YANG, W.-B. & YEN, Y.-N. 2015. BIM applied in historical building documentation and refurbishing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 85-90.
- CIOTTA, V., ASPRONE, D., MANFREDI, G. & COSENZA, E. 2021. Building Information Modelling in Structural Engineering: A Qualitative Literature Review. *CivilEng*, 2, 765-793.
- CLELAND, D. I. 2007. *Project management: strategic design and implementation*, McGraw-Hill Education.
- CLEVINGER, C. M., OZBEK, M., GLICK, S. & PORTER, D. Integrating BIM into construction management education. EcoBuild Proceedings of the BIM-Related Academic Workshop, 2010. 1-8.
- CLOUGH, R. H., SEARS, G. A. & SEARS, S. K. 2000. *Construction project management*, John Wiley & Sons.
- COLOMBERT, M., DE CHASTENET, C., DIAB, Y., GOBIN, C., HERFRAY, G., JARRIN, T., PEUPORTIER, B., TARDIEU, C. & TROCMÉ, M. 2011. Analyse de cycle de vie à l'échelle du quartier: un outil d'aide à la décision? Le cas de la ZAC Claude Bernard à Paris (France). *Environnement urbain*, 5, c1-c21.
- CRAWLEY, D. B., HAND, J. W., KUMMERT, M. & GRIFFITH, B. T. 2008. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and environment*, 43, 661-673.
- CROTTY, R. 2013. *The impact of building information modelling: transforming construction*, Routledge.
- DARKO, A., CHAN, A. P., YANG, Y. & TETTEH, M. O. 2020. Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management—Critical survey and future needs. *Computers in Industry*, 123, 103327.
- DAWOOD, N., AKINSOLA, A. & HOBBS, B. 2002. Development of automated communication of system for managing site information using internet technology. *Automation in construction*, 11, 557-572.
- DEL GROSSO, A., BASSO, P., RUFFINI, L., FIGINI, F. & CADEMARTORI, M. Infrastructure management integrating SHM and BIM procedures. Conf. Smart Monit. Assess. Rehabil. Civ. Struct., 2017.
- DENZER, A. & HEDGES, K. 2008. From CAD to BIM: Educational strategies for the coming paradigm shift. *AEI 2008: Building Integration Solutions*, 1-11.
- DUPIN, P. 2014. *Le LEAN appliqué à la construction: Comment optimiser la gestion de projet et réduire coûts et délais dans le bâtiment*, Editions Eyrolles.
- EADIE, R., BROWNE, M., ODEYINKA, H., MCKEOWN, C. & MCNIFF, S. 2013. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in construction*, 36, 145-151.
- EASTMAN, C. M. 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, John Wiley & Sons.
- EASTMAN, C. M., TEICHOLZ, P., SACKS, R. & LISTON, K. 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, John Wiley & Sons.
- EDITION, P. S. 2018. A guide to the project management body of knowledge. *Project Management Institute. Pennsylvania*.
- ELMUALIM, A. & GILDER, J. 2014. BIM: innovation in design management, influence and challenges of implementation. *Architectural Engineering and design management*, 10, 183-199.
- FERNANDES, J., TENDER, M., COUTO, J. & AREZES. Using BIM for risk management on a construction site. Occupational Safety and Hygiene V: Selected papers from the International Symposium on Occupational Safety and Hygiene (SHO 2017), April 10-11, 2017, Guimaraes, Portugal, 2017. CRC Press, 269.

- FUSTAMANTE HUAMÁN, M. 2014. Implementación del sistema integrado BIM-LEAN-GREEN (BGL) en la fase de diseño de proyectos de construcción.
- GANBAT, T., CHONG, H.-Y., LIAO, P.-C. & WU, Y.-D. 2018. A bibliometric review on risk management and building information modeling for international construction. *Advances in Civil Engineering*, 2018.
- GHOSH, A., PARRISH, K. & CHASEY, A. D. 2015. Implementing a vertically integrated BIM curriculum in an undergraduate construction management program. *International Journal of Construction Education and Research*, 11, 121-139.
- GLICK, S. & GUGGEMOS, A. IPD and BIM: benefits and opportunities for regulatory agencies. Proc., 45th Associated Schools of Construction National Conference, 2009.
- GOEDERT, J. D. & MEADATI, P. 2008. Integrating construction process documentation into building information modeling. *Journal of construction engineering and management*, 134, 509-516.
- GUÉRIN, D. M. 2012. Project management in the construction industry. *Retrieved January, 20, 2014.*
- GUERREAU, A. Édifices médiévaux, métrologie, organisation de l'espace, à propos de la cathédrale de Beauvais. Annales. Histoire, Sciences Sociales, 1992. Cambridge University Press, 87-106.
- GUIDE, A. Project management body of knowledge (pmbok® guide). Project Management Institute, 2001. 7-8.
- HAN, N., YUE, Z. F. & LU, Y. F. Collision detection of building facility pipes and ducts based on BIM technology. Advanced materials research, 2012. Trans Tech Publ, 312-317.
- HARDIN, B. 2009. BIM and Construction Management: proven Tools, Methods, and Workflows| Wiley Publishing Inc. *Indianapolis, Indiana.*
- HARDIN, B. & MCCOOL, D. 2015. *BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows*, John Wiley & Sons.
- HARTMANN, T., VAN MEERVELD, H., VOSSEBELD, N. & ADRIAANSE, A. 2012. Aligning building information model tools and construction management methods. *Automation in construction*, 22, 605-613.
- HAUGHEY, D. 2010. A brief history of project management. *Accounting Review Journal*, 6, 1-4.
- HERGUNSEL, M. F. 2011. Benefits of building information modeling for construction managers and BIM based scheduling.
- HODGSON, D. & CICMIL, S. 2006. Are projects real? The PMBOK and the legitimation of project management knowledge. *Making projects critical*, 29, 50.
- ILHAN, B. & YAMAN, H. 2016. Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. *Automation in Construction*, 70, 26-37.
- INSTITUTE, P. M. 2000. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, Project Management Inst.
- INSTITUTE, P. M. 2013. Guide du Corpus des connaissances en management de projet (Guide PMBOK®) — Cinquième édition.
- JRADE, A. & LESSARD, J. 2015. An integrated BIM system to track the time and cost of construction projects: a case study. *Journal of Construction Engineering*, 2015, 1-10.
- JUPP, J. 2017. 4D BIM for environmental planning and management. *Procedia engineering*, 180, 190-201.
- KALAY, Y. E. 2004. *Architecture's new media: Principles, theories, and methods of computer-aided design*, MIT press.
- KARAMAN, E. & KURT, M. 2015. Comparison of project management methodologies: prince 2 versus PMBOK for it projects. *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 4, 572-579.

- KARJI, A., WOLDESENBET, A. & ROKOOEI, S. 2017. Integration of augmented reality, building information modeling, and image processing in construction management: a content analysis. *AEI 2017*.
- KENSEK, K. 2014. Integration of Environmental Sensors with BIM: case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API.
- KHANZODE, A., FISCHER, M. & REED, D. 2008. Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing (MEP) systems on a large healthcare project. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 13, 324-342.
- KIM, H., HAAS, C. T., RAUCH, A. F. & BROWNE, C. 2003. 3D image segmentation of aggregates from laser profiling. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 18, 254-263.
- KIMBERLIN, C. L. & WINTERSTEIN, A. G. 2008. Validity and reliability of measurement instruments used in research. *American journal of health-system pharmacy*, 65, 2276-2284.
- KLOPPENBORG, T. J. & OPFER, W. A. 2002. The current state of project management research: trends, interpretations, and predictions. *Project management journal*, 33, 5-18.
- KOUJIL, O. 2021. *Défi de la mise en oeuvre du processus BIM dans l'industrie de la rénovation*. Université du Québec à Trois-Rivières.
- KRYGIEL, E. & NIES, B. 2008. *Green BIM: successful sustainable design with building information modeling*, John Wiley & Sons.
- KYMMELL, W. 2008. *Building information modeling: Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations (McGraw-Hill construction series)*, McGraw-Hill Education.
- LEFFINGWELL, D. 2010. *Agile software requirements: lean requirements practices for teams, programs, and the enterprise*, Addison-Wesley Professional.
- LEVY, S. M. 2002. Project management in construction.
- LIU, Z., ZHANG, C., GUO, Y., OSMANI, M. & DEMIAN, P. 2019. A Building Information Modelling (BIM) based Water Efficiency (BWe) framework for sustainable building design and construction management. *Electronics*, 8, 599.
- LU, Q., WON, J. & CHENG, J. C. 2016. A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Project Management*, 34, 3-21.
- LU, W., ZHANG, D. & ROWLINSON, S. BIM collaboration: A conceptual model and its characteristics. Proceedings of the 29th Annual Association of Researchers in Construction Management (ARCOM) Conference, 2013. Association of Researchers in Construction Management.
- LUTH, G. P., SCHORER, A. & TURKAN, Y. 2014. Lessons from using BIM to increase design-construction integration. *Practice periodical on structural design and construction*, 19, 103-110.
- MA, Z., CAI, S., MAO, N., YANG, Q., FENG, J. & WANG, P. 2018. Construction quality management based on a collaborative system using BIM and indoor positioning. *Automation in Construction*, 92, 35-45.
- MACHADO, R. L. & VILELA, C. 2020. Conceptual framework for integrating BIM and augmented reality in construction management. *Journal of civil engineering and management*, 26, 83-94.
- MARTÍNEZ-AIRES, M. D., LÓPEZ-ALONSO, M. & MARTÍNEZ-ROJAS, M. 2018. Building information modeling and safety management: A systematic review. *Safety science*, 101, 11-18.

- MARTINS, S. S., EVANGELISTA, A. C. J., HAMMAD, A. W., TAM, V. W. & HADDAD, A. 2022. Evaluation of 4D BIM tools applicability in construction planning efficiency. *International Journal of Construction Management*, 22, 2987-3000.
- MENADI, B. & ALIOUAT, L. 2022. *Le management de projet dans le cadre des infrastructures à caractère public*. Université Mouloud Mammeri.
- 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.
- MIRSHOKRAEI, M., DE GAETANI, C. I. & MIGLIACCIO, F. 2019. A web-based BIM-AR quality management system for structural elements. *Applied Sciences*, 9, 3984.
- MOHAJAN, H. K. 2017. Two criteria for good measurements in research: Validity and reliability. *Annals of Spiru Haret University. Economic Series*, 17, 59-82.
- MOON, H. S., KIM, H. S., KANG, L. S. & KIM, C. H. BIM functions for optimized construction management in civil engineering. ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2012. Citeseer, 1.
- MURUGAVEL, R., CHANDRASEKHAR, V. & ROESKY, H. W. 1996. Discrete silanetriols: building blocks for three-dimensional metallasiloxanes. *Accounts of chemical research*, 29, 183-189.
- NADERI, S. & RAVANSHADNIA, M. 2015. Green Building Information Modeling (BIM). International Conference on New Researches in Civil Engineering, Architecture and Urbanism.,
- NAGY, G., CELNIK, O. & LEBÈGUE, E. 2015. *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*, Editions Eyrolles.
- NYARKO, D. A. & KOZÁRI, J. 2021. Information and communication technologies (ICTs) usage among agricultural extension officers and its impact on extension delivery in Ghana. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20, 164-172.
- PAN, Y. & ZHANG, L. 2022. Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-30.
- PAXI MAMANI, A. 2015. Propuesta metodológica para la mejora de la planificación, programación y control de obras de construcción aplicando la interacción de las herramientas de Lean Construction y Building Information Modeling (BIM).
- PETERSON, F., HARTMANN, T., FRUCHTER, R. & FISCHER, M. 2011. Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned. *Automation in construction*, 20, 115-125.
- PISHDAD, P. & BELIVEAU, Y. Integrating multi-party contracting risk management (MPCR) model with building information modeling (BIM). CIB W78 27th International Conference on Applications of IT in the AEC Industry, 2010. 16-19.
- POPOV, V., JUOCEVICIUS, V., MIGILINSKAS, D., USTINOVICHIIUS, L. & MIKALAUSKAS, S. 2010. The use of a virtual building design and construction model for developing an effective project concept in 5D environment. *Automation in construction*, 19, 357-367.
- PORRAS-DÍAZ, H., SÁNCHEZ-RIVERA, O. G., GALVIS-GUERRA, J. A., JAIMEZ-PLATA, N. A. & CASTAÑEDA-PARRA, K. M. 2015. Tecnologias de "Building Information Modeling" na elaboração de orçamentos para a construção de estruturas de concreto armado. *Entramado*, 11, 230-249.
- PREIDEL, C., BORRMANN, A., OBERENDER, C. & TRETHEWAY, M. 2017. Seamless integration of common data environment access into BIM authoring applications: The BIM integration framework. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*. CRC Press.

- PUČKO, Z., ŠUMAN, N. & KLANŠEK, U. 2014. Building information modeling based time and cost planning in construction projects. *Organization, technology & management in construction: An International Journal*, 6, 0-0.
- PUOLITAIVAL, T. & FORSYTHE, P. 2016. Practical challenges of BIM education. *Structural Survey*, 34, 351-366.
- RAD, P. F. 2001. *Project estimating and cost management*, Berrett-Koehler Publishers.
- REICH, B. H. & WEE, S. Y. 2006. Searching for Knowledge in the PMBOK® Guide. *Project Management Journal*, 37, 11-26.
- RICHARDS, E. L. & CLEVENGER, C. M. Interoperable learning leveraging building information modeling (BIM) in construction management and structural engineering education. Proceedings of 47th ASC Annual International Conference, 2011. Citeseer.
- ROKOOEI, S. 2015. Building information modeling in project management: necessities, challenges and outcomes. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 210, 87-95.
- ROSE, K. H. 2013. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)—Fifth Edition. *Project management journal*, 3, e1-e1.
- RUSSELL, J. S. & JASELSKIS, E. J. 1992. Predicting construction contractor failure prior to contract award. *Journal of construction engineering and management*, 118, 791-811.
- RYDÉN, J. 2013. BIM in Project Management.
- SACKS, R., EASTMAN, C., LEE, G. & TEICHOLZ, P. 2018. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*, John Wiley & Sons.
- SAMPAIO, A. Z. 2017. BIM as a computer-aided design methodology in civil engineering. *Journal of software engineering and applications*, 10, 194-210.
- SANCHEZ, J. D. F. 2017. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)—. *Project Management Institut*.
- SERTYESILISIK, B. & KIVIRCIK, I. 2017. Integrated BIM Usage in Construction Project Management: As a Way of Enhancing Sustainability and Lean Performance of Construction Industry. *Integrated Building Information Modelling*, 204.
- SMITH, P. 2014. BIM implementation—global strategies. *Procedia engineering*, 85, 482-492.
- SMITH, P. 2016. Project cost management with 5D BIM. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 226, 193-200.
- SOLNOSKY, R., PARFITT, M. K. & HOLLAND, R. J. 2014. IPD and BIM–focused capstone course based on AEC industry needs and involvement. *Journal of professional issues in engineering education and practice*, 140, A4013001.
- SONG, Z., SHI, G., WANG, J., WEI, H., WANG, T. & ZHOU, G. 2019. Research on management and application of tunnel engineering based on BIM technology. *Journal of Civil Engineering and Management*, 25, 785-797.
- STACKPOLE, C. S. 2013. *A User's Manual to the PMBOK Guide*, John Wiley & Sons.
- SUERMANN, P. C. & ISSA, R. R. 2009. Evaluating industry perceptions of building information modelling (BIM) impact on construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 14, 574-594.
- SULANKIVI, K., ZHANG, S., TEIZER, J., EASTMAN, C. M., KIVINIEMI, M., ROMO, I. & GRANHOLM, L. Utilization of BIM-based automated safety checking in construction planning. Proceedings of the 19th International CIB World Building Congress, Brisbane Australia, 2013. 5-9.
- SUN, Q. & TURKAN, Y. 2020. A BIM-based simulation framework for fire safety management and investigation of the critical factors affecting human evacuation performance. *Advanced Engineering Informatics*, 44, 101093.
- UNDERWOOD, J. & ISIKDAG, U. 2011. Emerging technologies for BIM 2.0. *Construction Innovation*.

- USTINOVICIUS, L., PUZINAS, A., STARYNINA, J., VAIŠNORAS, M., ČERNIAVSKAJA, O. & KONTRIMOVICIUS, R. 2018. CHALLENGES OF BIM TECHNOLOGY APPLICATION IN PROJECT PLANNING. *Engineering Management in Production & Services*, 10.
- VARAJÃO, J., COLOMO-PALACIOS, R. & SILVA, H. 2017. ISO 21500: 2012 and PMBoK 5 processes in information systems project management. *Computer Standards & Interfaces*, 50, 216-222.
- VASS, S. & GUSTAVSSON, T. K. 2017. Challenges when implementing BIM for industry change. *Construction management and economics*, 35, 597-610.
- VIGNEAULT, M.-A., BOTON, C., CHONG, H.-Y. & COOPER-COOKE, B. 2020. An innovative framework of 5D BIM solutions for construction cost management: a systematic review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27, 1013-1030.
- WANG, H., ZHANG, J., CHAU, K. W. & ANSON, M. 2004. 4D dynamic management for construction planning and resource utilization. *Automation in construction*, 13, 575-589.
- WANG, N., CHANG, Y.-C. & EL-SHEIKH, A. A. 2012. Monte Carlo simulation approach to life cycle cost management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 8, 739-746.
- WESTLAND, J. 2007. *The project management life cycle: A complete step-by-step methodology for initiating planning executing and closing the project*, Kogan Page Publishers.
- WOO, J. H. BIM (building information modeling) and pedagogical challenges. Proceedings of the 43rd ASC national annual conference, 2006. 12-14.
- WU, S., WOOD, G., GINIGE, K. & JONG, S. W. 2014. A technical review of BIM based cost estimating in UK quantity surveying practice, standards and tools. *Journal of Information Technology in Construction (ITCon)*, 19, 534-562.
- XU, X., MA, L. & DING, L. 2014. A framework for BIM-enabled life-cycle information management of construction project. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11, 126.
- YALCINKAYA, M. & ARDITI, D. Building information modeling (BIM) and the construction management body of knowledge. Product Lifecycle Management for Society: 10th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2013, Nantes, France, July 6-10, 2013, Proceedings 10, 2013. Springer, 619-629.
- ZANDIEH, M., KANI, I. M., HESSARI, P. & KIRKEGAARD, P. H. 2016. Adoption of BIM systems in the AEC industry. *Ponte*, 72, 123-135.
- ZARROUG, M. 2020. *Les différents livrables du levé topographique avec le scanner 3D*. Univ M'sila.
- ZHANG, S., SULANKIVI, K., KIVINIEMI, M., ROMO, I., EASTMAN, C. M. & TEIZER, J. 2015. BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety science*, 72, 31-45.
- ZHANG, S., TEIZER, J., LEE, J.-K., EASTMAN, C. M. & VENUGOPAL, M. 2013. Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. *Automation in construction*, 29, 183-195.
- ZHANG, X., BAKIS, N., LUKINS, T. C., IBRAHIM, Y. M., WU, S., KAGIOGLOU, M., AOUAD, G., KAKA, A. P. & TRUCCO, E. 2009. Automating progress measurement of construction projects. *Automation in Construction*, 18, 294-301.
- ZOU, Y., KIVINIEMI, A. & JONES, S. W. 2017. A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety science*, 97, 88-98.
- ZWIKAEL, O. 2009. The relative importance of the PMBOK® Guide's nine Knowledge Areas during project planning. *Project Management Journal*, 40, 94-103.