

Implantation du BIM dans la gestion et la réalisation des
projets d'infrastructures de transport au ministère des
transports et de la mobilité durable du Québec

par

Megan DOUME EKALE

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE
AVEC MÉMOIRE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
M. Sc. A.

MONTREAL, LE 09 AVRIL 2024

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Megan Doume, 2024



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Érik Poirier, directeur de mémoire
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Fausto Errico, président du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. James Lapalme, membre du jury
Département de génie des systèmes à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 20 MARS 2023

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je souhaite exprimer ma sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de recherche.

En particulier, je tiens à remercier le Professeur Érik Poirier pour m'avoir offert l'opportunité d'intégrer ce projet de recherche et pour son encadrement attentif tout au long de ma maîtrise.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble de l'équipe de recherche associée à ce projet. À madame Marie Reumont, monsieur Antonin Pavard, Monsieur James Lapalme, Monsieur Kaïs Benhabderramane, travailler à vos côtés a été une expérience enrichissante. Je vous suis reconnaissante pour votre collaboration et votre disponibilité.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance envers le ministère des Transports et de la Mobilité Durable, mon partenaire industriel dans ce projet. Mes remerciements vont particulièrement à l'équipe BIM du ministère pour sa coopération et son engagement tout au long de la recherche. Je tiens à exprimer ma gratitude envers l'École de Technologie Supérieure et ses partenaires, notamment la Fondation MOLSON, pour les bourses qui ont facilité la réalisation de cette recherche. Mes remerciements vont également aux membres du GRIDD, une équipe exceptionnelle qui a grandement contribué à mon épanouissement académique.

À ma famille, je souhaite exprimer ma profonde gratitude pour son soutien inconditionnel. Merci à ma mère pour son soutien constant malgré la distance. À mon père, merci de toujours croire en moi. À ma grand-mère tant aimée, à qui je dédie ce travail acharné, je vous adresse mes remerciements pour votre accompagnement constant.

Un grand merci à ma famille de cœur. À "mi corazon", je suis reconnaissante pour son soutien, son encouragement et son accompagnement tout au long de cette aventure. Merci à Mimi, Manu, Eli, mes sœurs adorées, pour votre soutien inestimable.

Implantation du BIM dans la gestion et la réalisation des projets d'infrastructures de transport au ministère des transports et de la mobilité durable du Québec

Megan DOUME

RÉSUMÉ

L'intégration réussie du Building Information Modeling (BIM) dans les projets de construction depuis le début des années 2000 a étendu son influence significative aux infrastructures, notamment dans le secteur des transports. Les infrastructures de transport, en tant que levier économique essentiel pour les villes et les pays, suscitent un intérêt croissant en matière d'optimisation et de rentabilisation de leur réalisation. Dans de nombreux pays développés, les gouvernements ont engagé une transition numérique pour relever les défis environnementaux et économiques croissants des projets. Toutefois, ce processus de transition numérique demeure largement méconnu des organismes de transport.

Bien que les publications scientifiques sur les applications du BIM dans les projets d'infrastructures de transport augmentent, le décalage par rapport aux projets de bâtiments demeure significatif en raison de l'implantation plus récente du BIM dans le domaine des transports. Une lacune subsiste toutefois concernant les études sur le processus de transition numérique des organisations responsables de ces infrastructures.

Cette recherche par étude de cas vise à comprendre le processus de transition numérique des organismes publics chargés des infrastructures de transport, en se concentrant particulièrement sur le cas du ministère des Transports et de la Mobilité Durable du Québec (MTMD). Actuellement engagé dans une démarche de transition numérique, impulsée par la feuille de route BIM du gouvernement du Québec, le MTMD offre un cas d'étude privilégié. L'objectif de cette recherche est d'approfondir la compréhension des mécanismes à mettre en œuvre par les organismes de transport pour la mise en œuvre réussie du BIM dans la gestion et la réalisation des projets. Ainsi, les dimensions de la mise en œuvre du BIM pour les projets d'infrastructures, à savoir les avantages, les enjeux, les usages et les opportunités, ont été examinées. De plus, l'étude des précédents en matière de mise en œuvre du BIM a été réalisée, et des actions spécifiques pour la mise en œuvre du BIM dans la gestion et la réalisation des projets d'infrastructures de transport ont été identifiées.

Cette recherche contribue de manière significative à la théorie en mettant en lumière les spécificités et les nuances de la mise en œuvre du BIM dans le contexte particulier des infrastructures de transport. Grâce à l'analyse de projets concrets, elle enrichit notre compréhension des pratiques actuelles, des enjeux liés à la mise en œuvre du BIM dans les projets et du potentiel offert par le BIM dans la gestion des projets d'infrastructures de transport. En proposant des actions spécifiques adaptées au MTMD, elle offre des recommandations concrètes pouvant guider l'élaboration de feuilles de route gouvernementales pour la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures de transport, contribuant ainsi à l'évolution des pratiques dans le domaine de la construction.

VIII

Mots-clés : Mise en œuvre du BIM, transition numérique, infrastructures de transport, organismes de transport

BIM Implementation in the management and execution of transportation infrastructure projects at the ministry of transport and sustainable mobility of Quebec

Megan DOUME

ABSTRACT

The successful integration of Building Information Modeling (BIM) into construction projects since the early 2000s has significantly extended its influence to infrastructure, particularly in the transportation sector. Transportation infrastructures, as essential economic drivers for cities and countries, are increasingly drawing attention for the optimization and cost-effectiveness of their implementation. In many developed countries, governments have embarked on a digital transition to address the growing environmental and economic challenges of projects. However, this process of digital transition remains largely unknown to transportation agencies.

While scientific publications on BIM applications in transportation infrastructure projects are increasing, there is still a significant gap compared to construction projects due to the more recent adoption of BIM in the transportation domain. Nevertheless, a gap persists in studies on the digital transition process of organizations responsible for these infrastructures.

This case study aims to understand the digital transition process of public agencies responsible for transportation infrastructures, focusing particularly on the case of the Ministry of Transportation and Sustainable Mobility of Quebec (MTMD). Currently engaged in a digital transition initiative driven by the BIM roadmap of the Quebec government, the MTMD provides a privileged case study. The objective of this research is to deepen the understanding of the mechanisms to be implemented by transportation agencies for the successful implementation of BIM in project management and realization. Thus, the dimensions of BIM implementation for infrastructure projects, including benefits, challenges, uses, and opportunities, have been examined. Additionally, a study of precedents in BIM implementation has been conducted, and specific actions for BIM implementation in the management and realization of transportation infrastructure projects have been identified.

This research significantly contributes to the theory by highlighting the specificities and nuances of BIM implementation in the specific context of transportation infrastructure. Through the analysis of concrete projects, it enriches our understanding of current practices, challenges related to BIM implementation in projects, and the potential offered by BIM in project management for transportation infrastructure. By proposing specific actions tailored to the MTMD, it provides concrete recommendations that can guide the development of government roadmaps for BIM implementation in transportation infrastructure projects, thereby contributing to the evolution of practices in the construction domain.

Keywords : BIM implementation, digital transition, transportation infrastructure, transportation agencies

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE	7
1.1 Infrastructures de transport	7
1.1.1 Les infrastructures de transport terrestre.....	7
1.1.1.1 Infrastructure routière	7
1.1.1.2 Les infrastructures ferroviaires	8
1.1.2 Les infrastructures aéroportuaires.....	8
1.1.3 Les infrastructures fluviales et maritimes	8
1.2 Quelques concepts liés au BIM pour les infrastructures de transport.....	9
1.2.1 Définitions et synonymes.....	9
1.2.2 Outils et technologies BIM pour infrastructures de transport.....	10
1.2.3 Dimensions du BIM pour les infrastructures	12
1.3 Utilisation du BIM pour les infrastructures de transport	13
1.3.1 Usages BIM dans les projets d’infrastructures de transport	14
1.3.2 Avantages de l’utilisation du BIM dans les projets d’infrastructures	15
1.3.3 Enjeux et Défis de l’utilisation du BIM pour les projets d’infrastructures de transport	18
1.4 État de l’art de l’utilisation du BIM dans les projets de transport	21
1.4.1 Projets routiers	21
1.4.1.1 Projet de corridor du Pont Samuel-De Champlain au Canada.....	21
1.4.1.2 Projet d’échangeur des routes Inter-États 80 et 380 aux États-Unis.....	22
1.4.1.3 Projet du Pont de Randselva en Norvège.....	23
1.4.1.4 Projet de modernisation d’une autoroute existante en Australie	24
1.4.1.5 National Highways- A556 route à deux voies	26
1.4.2 Projets ferroviaires	27
1.4.2.1 Regional connector Transit aux États-Unis	27
1.4.2.2 Réseau Express Métropolitain (REM) à Montréal, Québec	28
1.4.2.3 Projet InterCity en Norvège.....	29
1.4.2.4 Grand Paris Express, France	30
1.4.2.5 Projet de la ligne Elisabeth, au Royaume-Uni	32
1.4.3 Projets aéroportuaires.....	33
1.4.3.1 Aéroport international du Prince Mohammad Bin Abdulaziz	33
1.4.3.2 Projet « 2BBD » à l’aéroport de Paris-Charles de Gaulle	34

1.4.3.3	Agrandissement et Réaménagement à L'Aéroport International Jean-Lesage de Québec	36
1.4.3.4	Programme "Airport-Hotel and Transit Center"	37
1.5	Initiatives passées et stratégies de mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures de transport	38
1.5.1	Initiatives gouvernementales	39
1.5.2	Stratégies d'implantation du I-BIM	41
1.6	Synthèse de la revue de littérature	41
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE		43
2.1	Choix du type de recherche	43
2.1.1	Contexte de la recherche	43
2.1.2	Rappel des objectifs de la recherche	44
2.1.2.1	Évolution de la problématique	44
2.1.2.2	Objectifs spécifiques	45
2.1.3	Conception de la recherche	46
2.1.3.1	Méthodologie choisie : Étude de cas	46
2.1.3.2	Définition du cas	47
2.1.3.3	Collecte et analyse de données	47
2.2	Activités de la recherche	48
2.2.1	Activité 1 : État de l'art	49
2.2.1.1	Méthode de Collecte des Données	50
2.2.1.2	Technique d'Analyse des Données	51
2.2.2	Activité 2 : Étude de l'utilisation du BIM dans les projets du MTMD	52
2.2.2.1	Méthode de Collecte des Données	53
2.2.2.2	Identification des projets	53
2.2.2.3	Déroulement des entretiens	54
2.2.2.4	Technique d'Analyse des Données	55
2.3	Relation entre les activités et les objectifs de la recherche	56
2.4	Chronologie de la recherche	57
2.5	Validité et fiabilité	58
2.5.1	Validité	58
2.5.2	Fiabilité	59
CHAPITRE 3 UTILISATION DU BIM DANS LES PROJETS DU MTMD		61
3.1	Présentation du MTMD	61
3.1.1	Rôle et objectifs	61
3.1.2	Types d'infrastructures	62
3.1.2.1	Infrastructures routières	62
3.1.2.2	Infrastructures aéroportuaires	63
3.1.2.3	Infrastructures ferroviaires	63
3.1.2.4	Infrastructures portuaires	64
3.2	Résultats des entretiens projets	64
3.3	Description et analyse globale des projets répertoriés	65

3.3.1	Routes et Autoroutes.....	65
3.3.1.1	Autoroute 15 – Aménagement de voies réservées.....	65
3.3.1.2	Route 138 – Prolongement.....	67
3.3.1.3	Autoroute 35 – Parachèvement (Phases III et IV).....	68
3.3.1.4	Autoroute 55 – Pavage.....	69
3.3.1.5	Route Gérin – Stabilisation de talus.....	70
3.3.1.6	Route 153 – Stabilisation de talus-.....	71
3.3.1.7	Route 267 – Éclairage.....	72
3.3.1.8	Route 199 – Protection des berges.....	73
3.3.1.9	Route 247 – Conservation de chaussées.....	74
3.3.1.10	Route 155 – Réfection de glissière de sécurité.....	74
3.3.2	Ponts routiers.....	76
3.3.2.1	Pont P-13836 – Remplacement.....	76
3.3.2.2	Pont de l’île-aux-tourtes – Reconstruction.....	77
3.3.2.3	Pont Camille-Parenteau – Structure P-08044.....	79
3.3.2.4	Pont Gédéon-Ouimet – Reconstruction.....	79
3.3.2.5	Pont de Québec – Remplacement du tablier.....	80
3.3.2.6	Pont P-07416 – Remplacement.....	81
3.3.3	Tunnels routiers.....	82
3.3.3.1	Tunnel Louis-Hyppolite-Lafontaine – Réfection.....	82
3.3.3.2	Tunnel Ville-Marie – Réfection.....	83
3.3.4	Infrastructure aéroportuaire.....	83
3.3.4.1	Aéroport de Québec – Hangar.....	83
3.3.5	Bâtiment.....	85
3.3.5.1	Centre de service Foster – Reconstruction.....	85
3.4	Analyse croisée des projets.....	85
3.4.1	Niveau d’utilisation du BIM dans les projets du Ministère.....	85
3.4.2	Écosystème numérique des projets.....	88
3.4.3	Avantages de l’utilisation du BIM.....	89
3.4.4	Enjeux et défis de l’implantation du BIM au Ministère.....	91
3.4.5	Opportunités pour le BIM dans les projets.....	94
3.4.6	Attentes et besoins de la mise en œuvre du BIM.....	97

CHAPITRE 4 ACTIONS POUR LA MISE EN ŒUVRE DU BIM DANS LES PROJETS DU MTMD.....

4.1	Cadre Gouvernemental BIM du Québec.....	99
4.1.1	Contexte de la feuille de route gouvernementale.....	99
4.1.2	État des lieux de la mise en œuvre du BIM au MTMD :.....	100
4.1.3	Axes et activités définis par la Feuille de route gouvernementale.....	101
4.2	Analyse des résultats des entretiens projets par rapport à la FdR-BIM Gouv.....	101
4.2.1	Enjeux.....	102
4.2.2	Besoins.....	106
4.2.3	Attentes.....	107

4.2.4	Opportunités.....	107
4.3	Récapitulation des actions issues des projets.....	109
CHAPITRE 5 DISCUSSION		117
5.1	Contexte et objectifs de la recherche	117
5.2	Synthèse et discussion des principaux résultats.....	118
5.2.1	État des pratiques actuelles	118
5.2.2	Dimensions de la mise en œuvre du BIM dans les projets	119
5.2.3	Actions pour la mise en œuvre du BIM	121
5.3	Limitations de la recherche.....	124
CONCLUSION.....		127
ANNEXE I LISTE DES ACTIONS ISSUES DE L'ANALYSE DES FEUILLES DE ROUTE		129
ANNEXE II CANEVAS DES ENTRETIENS PROJETS		139
ANNEXE III TABLEAU COMPARATIF DES PROJETS.....		141
ANNEXE IV RÉSUMÉ DES ENTRETIENS SUR LES PROJETS.....		159
ANNEXE V DESCRIPTION DES AXES DE LA FDR-BIM GOUV 2023		197
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		205

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1	Quelques exemples de logiciels BIM pour les infrastructures.....11
Tableau 1.2	Avantages de l'utilisation du BIM et leurs occurrences dans la littérature17
Tableau 1.3	Enjeux et défis de l'implantation du BIM et leurs occurrences dans la littérature20
Tableau 1.4	Fiche du projet de corridor du pont Samuel-De Champlain.....22
Tableau 1.5	Fiche du Projet d'échangeur à Iowa City.....23
Tableau 1.6	Fiche du projet du pont de Randselva.....24
Tableau 1.7	Fiche du projet de modernisation d'une autoroute en Australie25
Tableau 1.8	Fiche du projet de l'autoroute A556, Cheshire, Angleterre.....26
Tableau 1.9	Fiche du projet de Regional Connector Los Angeles27
Tableau 1.10	Fiche du projet du REM.....29
Tableau 1.11	Fiche du projet ferroviaire Intercity30
Tableau 1.12	Fiche du Projet Grand Paris Express31
Tableau 1.13	Fiche du projet de la ligne Elisabeth.....33
Tableau 1.14	Fiche du projet de l'Aéroport International du Prince Mohammad Bin Abdulaziz34
Tableau 1.15	Fiche du projet 2BBD.....35
Tableau 1.16	Fiche du projet de l'Aéroport Jean-Lesage de Québec.....37
Tableau 1.17	Fiche du projet Aéroport International de Denver.....38
Tableau 2.1	Feuilles de route retenues pour l'analyse.....52
Tableau 2.2	Axes et catégories de la feuille de route BIM du Québec.....52

Tableau 2.3	Liste des projets passés en entretien	55
Tableau 4.1	Nombre d'actions identifiées dans les feuilles de route.....	101
Tableau 4.2	Répartition des actions selon les axes et catégories de la FdR-BIM.....	101
Tableau 4.3	Classification des enjeux selon les catégories de la FdR-BIM Gouv	105
Tableau 4.4	Classification des besoins selon les catégories de la FdR-BIM Gouv	106
Tableau 4.5	Classification des besoins selon les catégories de la FdR-BIM Gouv	107
Tableau 4.6	Classification des opportunités selon les catégories de la FdR-BIM Gouv	109
Tableau 4.7	Codage des données des projets en actions.....	110
Tableau 4.8	Sommaire des actions proposées	114

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.1	Flux BIM et les utilisateurs du modèle.....	24
Figure 2.1	Activités de la recherche.....	49
Figure 2.2	Processus suivi pour l'activité 1 Tirée de Bandara et al., (2015)	50
Figure 2.3	Sélection des documents analysés via le logiciel NVIVO.....	52
Figure 2.4	Codes créés sur le logiciel NVIVO.....	52
Figure 2.5	Relation entre les activités et les objectifs de la recherche.....	57
Figure 2.6	Chronogramme des activités de la recherche.....	58
Figure 3.1	Répartition des projets vus en entretien.....	65
Figure 3.2	Carte du projet de la route 138.....	68
Figure 3.3	Vue panoramique en image de synthèse du pont de l'île aux tourtes Tirée de Gouvernement du Québec (2023b).....	78
Figure 3.4	Modélisation du projet d'agrandissement du Hangar de Québec	84
Figure 3.5	Représentation (en pourcentage) des usages BIM répertoriés.....	87
Figure 3.6	Répartition (en pourcentage) des avantages répertoriés	91
Figure 3.7	Répartition (en pourcentage) des enjeux et défis répertoriés.....	93
Figure 3.8	Répartition des opportunités répertoriées	96

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AEC	Architecture, Ingénierie, Construction
BCF	BIM Collaboration Format
BIM	Building Information Modeling
BrIM	Bridge Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design, en français CAO
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CDAO	Conception et Dessins Assistés par Ordinateur
CFIL	Chemins de fer d'intérêt local
CIM	Computer-Integrated Management
CIM	Construction Information Management
CIM	Construction Information Modeling
CiM	Civil Information Management
CIM	Civil Integrated Management
CM/GC	Construction Manager/General Contractor
FHWA	Federal Highway Administration
GIS	Geographic Information System, (SIG en français)
GPR	Ground-penetrating Radar
GPS	Global Positioning System
GRIDD	Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable en Environnement Bâti
IAC	Ingénierie, Approvisionnement et Construction
I-BIM	Infrastructure BIM

IFC	Industry Foundation Classes
LiDAR	Light Detection and Ranging
MNT	Modèle numérique de terrain
MTMD	ministère des Transports et de la Mobilité Durable
MVD	Model View Definition
NEC3	Engineering and Construction Contract
REM	Réseau Express Métropolitain
SIG	Systèmes d'informations géographiques
SQI	Société Québécoise des Infrastructures
VDC	Virtual Design and Construction

INTRODUCTION

Le secteur de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction (AEC) connaît actuellement un intérêt accru pour la digitalisation, cherchant à améliorer sa productivité. Au cœur de cette transformation se trouve le Building Information Modeling (BIM), une technologie clé qui, associée à d'autres innovations telles que l'Internet des Objets, le Big Data, la Blockchain et les Systèmes d'Information Géographique (SIG), ouvre la voie au développement de la Construction Intelligente (Cepa, Pavón, Alberti, Ciccone, & Asprone, 2023). Cette transition vers des pratiques plus intelligentes trouve en effet dans le BIM un élément central, offrant des perspectives prometteuses pour moderniser et optimiser l'ensemble du secteur de la construction.

Axé sur le développement, l'utilisation et le transfert de modèles d'information numériques, le BIM a profondément remodelé la gestion des projets de construction (E. A. Poirier et al., 2022), apportant des avantages notables en coordination, collaboration et efficacité opérationnelle (Samimpay & Saghatforoush, 2020). Son adoption réussie, initialement dans le secteur des bâtiments, s'est étendue à toutes les infrastructures, y compris les projets de transport (Costin, Adibfar, Hu, & Chen, 2018). Cette expansion du BIM dans le domaine des infrastructures de transport, qui sont caractérisées par leur complexité et la nécessité d'une coordination étroite, marque une avancée significative (Costin, Adibfar, Hu, & Chen, 2018 ; Gaur & Tawalare, 2022). Notamment, les projets ferroviaires suscitent un intérêt croissant en matière d'application du BIM et des technologies numériques, en raison de leur typologie distinctive, de leur envergure et de leur complexité particulière parmi les différents projets de transport. (Bensalah, Elouadi, & Mharzi, 2019 ; Ciccone, Stasio, Asprone, Salzano, & Nicolella, 2022). Ainsi, le BIM, conjugué aux autres technologies de l'Industrie 4.0, joue un rôle essentiel dans la progression vers une approche plus intelligente et efficace dans la réalisation des projets d'infrastructures de transport.

Malgré ces progrès, des défis subsistent dans l'utilisation du BIM pour les infrastructures de transport, tels que la standardisation des données, l'interopérabilité des logiciels et la nécessité

d'une formation spécialisée (Costin et al., 2018 ; Gaur & Tawalare, 2022). Une approche stratégique s'impose pour maximiser les avantages du BIM dans ce domaine.

Contexte de l'adoption du BIM dans le domaine des infrastructures de transport

À travers le monde, le Building Information Modeling (BIM) a été largement adopté dans le secteur des infrastructures de transport, avec les États-Unis et le Royaume-Uni se positionnant en tant que pionniers. D'autres pays, tels que la Norvège, la Suède, l'Allemagne et Singapour, ont également intégré cette méthodologie (Bensalah et al., 2019 ; Miceli Junior, Pellanda, & Reis, 2019). Ces nations ont initié des démarches au sein de leurs organismes gouvernementaux en charge des infrastructures de transport, mettant en œuvre des feuilles de route définissant des axes stratégiques et des actions spécifiques à entreprendre dans un calendrier défini. Par exemple, aux États-Unis, la « *Federal Highway Administration (FHWA)* », en charge du transport routier, a élaboré une feuille de route générique servant de référence à plusieurs États pour l'établissement de leurs propres plans de mise en œuvre du BIM (Federal Highway Administration, 2021).

Bien que le Canada soit en retrait dans l'utilisation du BIM pour les infrastructures de transport, les provinces de Québec et d'Alberta se démarquent avec des exigences spécifiques pour les projets en BIM (E. A. Poirier et al., 2022). Le gouvernement du Québec a élaboré une feuille de route pour la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures publiques, publiée en 2021 et régulièrement mise à jour depuis lors. Cette feuille de route sert de cadre de référence pour l'élaboration des feuilles de route de chaque donneur d'ouvrage public, y compris le MTMD (É. Poirier et al., 2023b).

Les recherches antérieures axées sur l'implantation du BIM dans les projets d'infrastructures se sont principalement concentrées sur l'examen des avantages potentiels, des cas d'utilisation, des applications et des défis inhérents à cette démarche (Bensalah et al., 2019 ; Cepa et al., 2023 ; Ciccone et al., 2022 ; Costin et al., 2018 ; Gaur & Tawalare, 2022 ; Matejov & Šestáková, 2021). Cette étude se positionne dans un contexte caractérisé par un manque

d'études approfondies sur la transition numérique des organismes gouvernementaux responsables des infrastructures de transport. Son objectif est de combler cette lacune en fournissant des lignes directrices précises pour initier la mise en œuvre du BIM et des technologies numériques associées, contribuant ainsi à enrichir le corpus de recherche dans ce domaine spécifique.

Problématique de la Recherche

La présente recherche se focalise sur la problématique centrale visant à comprendre comment les organismes gouvernementaux en charge des infrastructures de transport engagent la démarche de transition vers le BIM. Cette démarche s'appuie sur les initiatives passées, mises en place dans d'autres pays ainsi que sur des retours d'expérience concrets. La question de recherche formulée est la suivante : "Comment les organismes de transport entreprennent-ils la mise en œuvre du BIM dans la gestion et la réalisation des projets de transport?" Cette question se décompose en trois volets distincts :

- Analyser les pratiques courantes relatives au BIM dans les projets d'infrastructures de transport.
- Identifier les enjeux, défis, attentes et besoins spécifiques au MTMD associés à l'intégration du BIM.
- Explorer les actions et les stratégies à déployer par les organismes de transport pour garantir une mise en œuvre réussie du BIM tout au long du cycle de vie des projets d'infrastructures de transport.

Justification de la Recherche et contribution

Cette recherche revêt une importance dans un contexte où les projets d'infrastructures de transport exigent une gestion de plus en plus efficiente, durable et collaborative.

En analysant de près les pratiques actuelles et en formulant des recommandations basées sur des enseignements concrets, cette étude ambitionne de contribuer à l'élaboration d'une feuille

de route ministérielle pour une intégration optimale du BIM. Ainsi, cette recherche, aspire à contribuer significativement à l'évolution des pratiques dans le domaine des infrastructures de transport, en fournissant des perspectives éclairées et des recommandations pragmatiques pour une transition numérique réussie.

Structure du Mémoire

Ce mémoire se structure autour de cinq chapitres organisés de la manière suivante :

- **Revue de la Littérature (Chapitre 1) :** Le premier chapitre offre une revue exhaustive de la littérature existante sur l'utilisation du BIM dans les projets d'infrastructures de transport. L'objectif est de cartographier les usages courants, d'analyser les avantages déjà documentés, et de mettre en lumière les défis rencontrés. En outre, ce chapitre explore les initiatives gouvernementales antérieures visant à implémenter le BIM dans les projets d'infrastructures de transport. Cette étape sert de base pour positionner la recherche au sein du paysage académique et professionnel.
- **Méthodologie (Chapitre 2) :** Le deuxième chapitre expose en détail la méthodologie adoptée pour répondre à la problématique de recherche. Il présente les différentes étapes, activités et approches méthodologiques utilisées. L'articulation entre ces choix méthodologiques et les objectifs spécifiques de la recherche est clairement établie, assurant une transparence et une rigueur méthodologique.
- **Analyse des projets du MTMD utilisant le BIM (Chapitre 3) :** Dans ce troisième chapitre, la mise en œuvre du BIM dans le contexte spécifique des projets du ministère des Transports et de la Mobilité Durable (MTMD) est minutieusement étudiée. Les résultats de cette analyse mettent en lumière les défis inhérents à l'intégration des technologies numériques dans les projets, tout en identifiant les opportunités, attentes et besoins exprimés par les acteurs de terrain.
- **Actions pour la Mise en Œuvre du BIM (Chapitre 4) :** Le quatrième chapitre se concentre sur la formulation d'actions concrètes destinées à faciliter la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures. Ces actions, alignées sur la feuille de route

gouvernementale pour le BIM, sont élaborées en tenant compte des attentes, des besoins, et des enjeux issus de l'analyse des projets.

- Discussion (Chapitre 5) : Enfin, le cinquième chapitre analyse les résultats à la lumière de la littérature, mettant en relief les convergences et divergences. Les implications et les limitations de la recherche sont discutées, renforçant la crédibilité des conclusions.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 Infrastructures de transport

Les infrastructures de transport représentent un important levier socio-économique des pays, car elles facilitent la communication les échanges de biens et de personnes entre ces derniers. On distingue trois catégories d'infrastructures de transport selon l'espace, indépendamment du mode de transport : il s'agit du transport terrestre, du transport aérien, et du transport maritime (Polyzos & Tsiotas, 2020). En fonction des différents modes de transport, ces catégories peuvent encore être subdivisées.

1.1.1 Les infrastructures de transport terrestre

Les infrastructures de transport terrestre comprennent l'infrastructure routière et l'infrastructure ferroviaire (Polyzos & Tsiotas, 2020).

1.1.1.1 Infrastructure routière

L'infrastructure routière se réfère à l'ensemble des éléments physiques et aménagements qui composent et supportent le réseau de routes et de voies de circulation d'un territoire donné. Elle comprend tous les éléments nécessaires à la construction, à l'entretien et à l'utilisation des routes et des voies de circulation, afin de garantir la sécurité, l'efficacité et la fonctionnalité du réseau routier.

Les infrastructures routières sont les plus importantes et les plus utilisées dans le monde. Elles regroupent les voies de circulation des différents réseaux routiers d'une région ou d'un pays, de même que les infrastructures de transport actif (Institut National de la Santé Publique du Québec, 2022 ; Polyzos & Tsiotas, 2020).

Comme exemples d'infrastructures routières, on peut citer les routes, les autoroutes, les ponts et tunnels, les pistes cyclables.

1.1.1.2 Les infrastructures ferroviaires

L'infrastructure ferroviaire regroupe un ensemble d'actifs bâtis favorisant la circulation de trains. Elle comprend toutes les installations (voies ferrées, caténares, équipements, etc.), les bâtiments (gares ferroviaires, stations, etc.), les ouvrages d'art (ponts, tunnels, soutènements, barrages, etc.) et le système de télécommunication (réseau informatique, vidéosurveillance, systèmes sonore et visuel, etc.) (POLE-EMPLOI, s.d.).

1.1.2 Les infrastructures aéroportuaires

Elles regroupent l'ensemble des équipements qui permettent au vol des avions de s'effectuer dans des conditions d'utilité, de régularité et de commodité et facilité dans le but de favoriser le développement du transport aérien. Ces équipements comprennent : la plate-forme des aéroports, les installations des aéroports, les dispositifs de navigation aérienne et d'assistance à cette navigation (Services Québec, s.d.).

1.1.3 Les infrastructures fluviales et maritimes

Les infrastructures fluviales et maritimes facilitent l'exploitation des ressources énergétiques et des réseaux de télécommunication. Elles sont pour la plupart dissimulées sous l'eau. Les installations portuaires favorisent la communication entre les milieux terrestre et maritime/fluvial. Situées le long des côtes pour le chargement et le déchargement des navires, elles comprennent les quais, les docks, les hangars, les grues, etc.

Ces différents types d'infrastructures de transport sont essentiels pour assurer la mobilité des personnes et le transport des marchandises à travers le monde. Ils sont souvent interconnectés pour permettre des déplacements fluides et efficaces.

1.2 Quelques concepts liés au BIM pour les infrastructures de transport

1.2.1 Définitions et synonymes

Selon (Costin et al., 2018), plusieurs acronymes présents dans la littérature se rapportent plus ou moins à la notion de « BIM pour Infrastructures » et peuvent être considérés comme des synonymes. Il s'agit des acronymes suivants : BIM, BrIM, CAD, CIM, CiM, VDC. Il est à noter que l'acronyme CIM peut avoir 4 significations différentes.

- **BIM pour « *Building Information Modeling*. »** Le BIM (*Building Information Modeling*), désigne « un processus collaboratif axé sur le développement, l'utilisation, l'échange et la gestion de modèles de données numériques liés à un projet ou à un portefeuille d'infrastructures dans le but d'améliorer sa conception, sa construction et son exploitation ». Le BIM peut être traduit en français par modélisation des données des infrastructures, pour marquer son extension à l'ensemble des actifs bâtis (Gouvernement du Québec, 2023a). L'acronyme **I-BIM** est utilisé plus récemment pour désigner « *Infrastructure BIM* », et concerne uniquement les infrastructures de transport (Pasetto, Giordano, Borin, & Giacomello, 2020).
- **BrIM pour « *Bridge Information Modeling* »** Le BrIM (*Bridge Information Modeling*) désigne, comme son nom l'indique, une extension du BIM aux projets de ponts (Cepa et al., 2023 ; Costin et al., 2018).
- **CAD pour « *Computer-Aided Design* »** Le CAD (en français CAO pour Conception Assistée par Ordinateur, ou CDAO pour Conception et Dessin Assistés par Ordinateur) renvoie à l'utilisation d'outils numériques pour générer, modifier, analyser, optimiser un objet ou un espace. Le CAD regroupe l'ensemble des outils numériques « pré-BIM », ainsi que leurs livrables 2D et 3D (BIME Initiative, s.d.). Le BIM intègre à cette représentation en 3D les informations liées aux éléments de l'infrastructure, donc prend racine dans les pratiques CAD.
- **CIM pour « *Civil Integrated Management* » ou « *Computer-Integrated Management* » ou « *Construction Information Management* » ou « *Construction Information Modeling* » :** Le terme « *Civil Information Management* », beaucoup plus utilisé aux États-Unis, renvoie à la gestion et l'intégration d'informations précises tout au long du

cycle de vie d'un actif de transport (Costin et al., 2018). L'acronyme est aussi utilisé pour « *Computer-Integrated Management* » ou encore « *Construction Information Management* » ou même « *Construction Information Modeling* » et CiM pour « *Civil information Management* ». Toutes ces déclinaisons ont néanmoins la même quintessence (Costin et al., 2018).

- **VDC pour « *Virtual Design and Construction* »** Le concept de « *Virtual Design and Construction* » fait référence à l'utilisation des modèles numériques multidisciplinaires afin de créer un projet virtuel avant la construction, ce qui favorise l'amélioration de la planification et de la gestion du projet, y compris l'échéancier et les coûts (CIFE-Stanford University, s.d.).

En somme, tous ces acronymes sont rattachés au concept de digitalisation des informations d'un projet de construction. C'est pourquoi dans la suite de ce travail, il sera considéré que le terme « *Building Information Modeling* » (BIM), ou Modélisation des données des infrastructures, englobe tous ces différents acronymes.

1.2.2 Outils et technologies BIM pour infrastructures de transport

Il existe une variété d'outils technologiques associés au BIM, dépendamment des cas d'utilisation, pouvant être catégorisés en termes d'équipements matériels (*hardware*), d'infrastructure réseau et de capture de la réalité (Wood, 2020).

- Les **logiciels** regroupent les programmes de modélisation, de visualisation ou d'analyse, dotés de capacités paramétriques et d'attribution de données (Chong, Lopez, Wang, Wang, & Zhao, 2016 ; Wood, 2020). Quelques exemples de logiciels utilisés spécifiquement pour les infrastructures de transport sont listés dans le Tableau 1.1.
- **Les équipements** : l'utilisation de logiciels BIM requiert des ordinateurs avec de puissantes caractéristiques, notamment la RAM ou la mémoire graphique (Wood, 2020);
- **Infrastructure Réseau** : le réseau doit permettre l'accès à une source unique de données mise à jour à la fois pour les équipes de conception, de construction et de maintenance; cela nécessite des serveurs de données puissants (Wood, 2020);

- Capture de la réalité** : ce volet est également très important pour garantir la fiabilité des données sur les actifs (données du tel-que-construit), à transmettre aux équipes d'exploitation et de maintenance et la comparaison entre la construction réelle et le modèle BIM; les solutions de capture de réalité permettent d'effectuer un relevé de terrain en créant un nuage de points 3D pouvant être traités par des logiciels BIM. Comme exemple de solution de capture de la réalité, on peut citer le scan 3D LiDAR, la photogrammétrie, l'interférométrie radar, la vidéogrammétrie par drone, les stations totales robotisées, etc... (Costin et al., 2018 ; Djoudi, Lancien, & Tignon, 2019 ; V1 Media & Autodesk, 2015 ; Wood, 2020).

Tableau 1.1 Quelques exemples de logiciels BIM pour les infrastructures

Fonction	Exemples
Conception 3D, analyse, visualisation	Power Rail Track; Power InRoads; Power GEOPAK; MXROAD; PowerCivil, InfraWorks; Revit; AutoCAD Civil 3D; Allplan; TEKLA BIMSight; Rhinoceros, Grasshopper,
Réalisation de projet & suivi chantier, Inspection	Suite ProjectWise de Bentley; TEKLA Field3D; TRIMBLE Feedback, InspectTech;
Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur	IBM Maximo for Civil Infrastructure; YouBIM; Coswin 8i CMMS; Brightly Asset Management for Infrastructure, Suite AssetWise de Bentley
Plateforme collaborative	Autodesk BIM 360; BIM Collab; Cinto; BIMTrack;
Traitement des nuages de points et données SIG	ReCap, AutoCAD Map 3D, ARCGIS

1.2.3 Dimensions du BIM pour les infrastructures

Une étude menée par (Ershadi, Jefferies, Davis, & Mojtahedi, 2021) permet de comprendre comment le BIM contribue de façon pratique à améliorer la construction des projets d'infrastructure, en faisant le lien entre les dimensions du BIM et les stratégies d'implantation de ce système. Dix dimensions du BIM ont été étudiées jusqu'ici, sachant que les 7 premières ont émergé depuis les années 2000, avec les premières recherches sur le BIM. Les dimensions de 8 à 10 sont beaucoup plus récentes (Ershadi et al., 2021).

- 1D : cet aspect concerne toutes les données générées et leur gestion globale, et donc rationalise les différentes étapes du processus de construction d'infrastructures (Ershadi et al., 2021 ; Wood, 2020);
- 2D : c'est la dimension des dessins vectoriels, sur les axes X et Y; c'est en 2D que sont réalisés les plans de CAO au tout début de la modélisation des dessins; depuis l'avènement du dessin 3D, la plupart des dessins 2D en sont directement tirés (Ershadi et al., 2021 ; Wood, 2020);
- 3D : ici s'ajoute aux axes X et Y de la 2D l'axe Z; cet aspect du BIM permet de visualiser l'ouvrage dans sa totalité, du point de vue de la géométrie; c'est la dimension de la coordination virtuelle (Ershadi et al., 2021 ; Wood, 2020);
- 4D : il s'agit de l'aspect gestion du chantier du BIM; le terme BIM 4D renvoie à l'intégration d'éléments de construction en 3D avec leur durée et les informations relatives à la séquence de construction (Wood, 2020).
- 5D : cet aspect du BIM vise à intégrer la planification budgétaire et la gestion des coûts du projets (Ershadi et al., 2021);
- 6D : le BIM 6D concerne l'optimisation de la consommation d'énergie, qui permet de réduire les coûts à long terme liés à l'exploitation de l'ouvrage, d'améliorer les performances; c'est la dimension de la durabilité, du point de vue des performances énergétiques (Ershadi et al., 2021 ; Wood, 2020);
- 7D: il s'agit de la dimension de l'analyse et de la gestion du cycle de vie de l'actif; les informations ajoutées au modèle 6D pour constituer le modèle 7D comprennent les attributs des actifs, les détails de fonctionnement et de maintenance pendant la période

de mise en service du projet, les spécifications de l'installation, les détails de l'installation et de la garantie, les calendriers de maintenance, les manuels et les configurations de l'équipement nécessaires pour des performances optimales (Ershadi et al., 2021);

- 8D : au BIM 7D, s'ajoutent les exigences en termes de santé et de sécurité sur site, pour assurer la sécurité du personnel pendant la construction et l'exploitation de l'ouvrage, dans la pratique, la mise en œuvre de cet aspect n'est pas encore totalement effective (Ershadi et al., 2021);
- BIM 9D : c'est la dimension de l'intégration des exigences de la construction allégée (*lean construction*) à la 8D; elle vise une réalisation et une exploitation plus efficaces, avec l'optimisation de la gestion des ressources et du budget (Ershadi et al., 2021);
- BIM 10D : c'est la dimension de la construction industrialisée; elle permet de booster la productivité pendant conception, et la réalisation d'un ouvrage, à travers l'utilisation de drones, et de machines de fabrication par exemple (Ershadi et al., 2021).

Les dimensions 1D à 2D sont inéluctablement utilisées dans tous les projets d'infrastructures de nos jours, et dans une certaine mesure la 3D. Les dimensions 4D et 5D sont de plus en plus utilisées dans les projets. Quant aux dimensions 6D et 7D, leur utilisation est beaucoup plus documentée pour les projets de bâtiments. Les dimensions 8D à 10D sont encore en développement, et rares sont les projets qui les mettent en pratique. Un aperçu de l'état de l'art dans l'utilisation du BIM pour les projets d'infrastructures permettrait de mieux s'en rendre compte.

1.3 Utilisation du BIM pour les infrastructures de transport

Ce paragraphe expose les divers usages et applications du BIM dans les projets d'infrastructures de transport, comme répertoriés dans la littérature existante. Il aborde également les multiples avantages et défis associés à l'intégration du BIM dans ce contexte spécifique.

1.3.1 Usages BIM dans les projets d'infrastructures de transport

Les usages BIM relatifs aux projets d'infrastructures de transport sont nombreux, sur l'ensemble de cycle de vie du projet. On peut en citer quelques :

- **Acquisition et modélisation de l'environnement, ou relevé de l'existant** : (Baldwin, 2019 ; A. Borrmann, Hochmuth, König, Liebich, & Singer, 2016 ; Chong et al., 2016 ; Ciccone et al., 2022 ; Kumar & Sarkar, 2020 ; Nuttens, Breuck, Cattoor, & Hemeryck, 2018 ; Suchocki, 2017 ; TOLMER et al., 2023 ; V1 Media & Autodesk, 2015);
Cet usage utilise les données SIG (Systèmes d'informations géographiques), et facilite l'identification et le traitement des interfaces entre le projet et son environnement existant; un extrait exploitable en est le Modèle numérique de terrain (MNT) ; le relevé de l'existant peut consister soit en un géoréférencement GPS, soit en un relevé terrestre, soit en un relevé bathymétrique, soit en un relevé d'ouvrages élémentaires. Une ou plusieurs combinaisons de ces relevés être utilisés pour l'acquisition des condition existantes.
- **Réalisation des maquettes numériques métiers ou Modélisation 3D**, dont un intrant est le MNT (Baldwin, 2019 ; Chong et al., 2016 ; Kumar & Sarkar, 2020 ; TOLMER et al., 2023);
- **Revue de maquette, revue ou synthèse de projet** (Baldwin, 2019 ; Pasetto et al., 2020 ; TOLMER et al., 2023);
- **Interpolation géotechnique** (Chong et al., 2016 ; TOLMER et al., 2023) : elle permet de croiser les données géotechniques avec les modèles projets (MNT, modèles métiers), afin d'obtenir une représentation 3D des couches lithologiques, et du terrain, qui facilite l'implantation du projet « au sol »; elle peut aussi permettre de réaliser une estimation des coûts et quantités des matériaux à exploiter;
- **Analyses environnementales** : (Zhou, Tang, Jin, Zhang, & Sang, 2021);
- **Production de rendu visuels ou Visualisation 3D** (Baldwin, 2019 ; Pasetto et al., 2020 ; TOLMER et al., 2023);
- **Extraction de plans 2D** (Baldwin, 2019 ; TOLMER et al., 2023);
- **Détection et Gestion d'interférences et Coordination 3D** (Baldwin, 2019 ; Pasetto et al., 2020 ; TOLMER et al., 2023);

- **BIM 4D : Phasage ou séquençage des travaux :** (Baldwin, 2019 ; Chong et al., 2016 ; TOLMER et al., 2023);
- **Évaluation des quantités :** (Baldwin, 2019 ; Pasetto et al., 2020 ; TOLMER et al., 2023);
- **Suivi du chantier, inspections virtuelles :** Cet usage permet notamment de produire des commentaires de suivi au format BCF, directement sur la maquette numérique (Pasetto et al., 2020 ; TOLMER et al., 2023);
- **BIM 5D : Analyse et suivi budgétaire, estimation des coûts** (Baldwin, 2019 ; Chong et al., 2016 ; Pasetto et al., 2020 ; TOLMER et al., 2023);
- **Réalisation du modèle tel-que-construit** (Baldwin, 2019);
- **Gestion de l'information tout au long du cycle de vie** (Pasetto et al., 2020).

1.3.2 Avantages de l'utilisation du BIM dans les projets d'infrastructures

L'utilisation du BIM dans les projets d'infrastructures de transport a révélé de nombreux avantages, ceci à chaque étape du cycle vie du projet. Il y a évidemment plus d'avantages à tirer en intégrant le BIM dès le début du projet (Suchocki, 2017).

Les principaux avantages retrouvés dans la littérature sont l'amélioration du processus de conception, la réduction des coûts et la prévisibilité des budgets, et l'amélioration de la collaboration à travers une coordination et une communication facilitée entre les différentes parties prenantes.

L'amélioration du processus de conception comprend notamment : la réduction des erreurs de conception (Bensalah, Elouadi, & Mharzi, 2018 ; Bensalah et al., 2019 ; André Borrmann, Forster, Liebich, König, & Tulke, 2021 ; Matejov & Šestáková, 2021 ; Neves, Sampaio, & Vilela, 2019 ; Samimpay & Saghatfroush, 2020 ; Shin, Lee, & Kim, 2018); la possibilité et facilité de détection des collisions (Bensalah et al., 2019 ; Costin et al., 2018 ; Kumar & Sarkar, 2020 ; Kurwi, Demian, Blay, & Hassan, 2021 ; Samimpay & Saghatfroush, 2020), et la détection de problèmes d'interfaces (Bensalah et al., 2018, 2019 ; Neves et al., 2019).

Le BIM permet de toute évidence une réduction des coûts de projets, et une certaine exactitude dans la prédiction budgétaire. Plusieurs exemples de projets ont révélé cet avantage comme retour d'expérience. C'est le cas par exemple du projet de la station de métro à Otterspool au Royaume-Uni (Kumar & Sarkar, 2020), ou encore du projet de la ligne ferroviaire de Cancellone-Benevento en Italie (Ciccione et al., 2022).

La collaboration entre les nombreuses parties prenantes d'un projet d'infrastructures de transport est également améliorée. Le processus de partage des données est facilité grâce aux formats d'échange et de collaboration (Kaewunruen, AbdelHadi, Kongpuang, Pansuk, & Remennikov, 2023).

D'autres avantages sont également à relever, à savoir la réduction des délais procéduraux d'approbation, qui sont liés à une meilleure visualisation du projet (Kaewunruen et al., 2023 ; Mitchell, Williges, & Sarah Henly-Thomas, 2023), la gestion de l'information relative à l'actif bâti sur l'ensemble du cycle de vie.

Une liste détaillée des avantages recensés dans les articles étudiés est présentée dans le Tableau 1.2, ainsi que leurs occurrences dans lesdits articles.

Tableau 1.2 Avantages de l'utilisation du BIM et leurs occurrences dans la littérature

	Réduction des coûts et prévisibilité	Amélioration du processus de conception	Meilleure collaboration, coordination et communication	Meilleure planification de la maintenance	Amélioration du processus de construction	Meilleure gestion des actifs et de l'information	Support d'aide à la décision	Réduction de la consommation de temps	Meilleure gestion des risques/anticipation	Meilleure gestion des ressources (hommes, matériels, argent)	Meilleure visibilité sur le projet (visualisation)	Support d'aide à la préfabrication	Amélioration de la qualité	Acquisition de l'existant améliorée	Amélioration de l'efficacité et de la productivité	Réduction des coûts de terrassement et de la gestion des déchets	Documentation du tel-que-construit précise
(André Borrman et al., 2021)	x		x		x				x		x						
(Bawono, von Schumann, & Lechner, 2021)		x	x			x					x		x				
(Bensalah et al., 2018)	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x					
(Bensalah et al., 2019)	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x				
(Bradley, Li, Lark, & Dunn, 2016)		x	x		x	x		x	x								
(Bui, Merschbrock, Munkvold, & Lassen, 2018)	x	x	x														
(Ciccone et al., 2022)	x	x	x	x					x	x				x		x	
(Costin et al., 2018)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x		x
(Gaur & Tawalare, 2022)		x	x		x												
(Kaewunruen et al., 2023)	x		x	x				x			x						
(Kumar & Sarkar, 2020)	x	x	x	x	x		x	x		x				x		x	x
(Kurwi et al., 2021)		x	x				x										
(Kurwi, Demian, & Hassan, 2017)							x						x		x		
(Matejov & Šestáková, 2021)	x	x	x														
(Mitchell et al., 2023)	x			x		x		x									
(Neves et al., 2019)	x	x		x		x	x					x					
(Pasetto et al., 2020)	x	x															
(Sacks, Eastman, Lee, & Teicholz, 2018)	x			x	x	x		x		x						x	
(Samimpay & Saghatforoush, 2020)	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x				
(Shin et al., 2018)	x	x			x		x		x								
(Smith, 2014)	x	x		x					x			x					
(Suchocki, 2017)														x	x		
Total	16	16	14	11	10	9	9	9	8	5	5	5	4	3	3	3	2

1.3.3 Enjeux et Défis de l'utilisation du BIM pour les projets d'infrastructures de transport

L'implantation effective du BIM dans les projets d'infrastructures de transports présente de nombreux enjeux et défis, tant sur le plan technique, technologique, culturel, organisation (Bawono et al., 2021 ; Cepa et al., 2023) et même légal, qui sont adressés la littérature existante (Bawono et al., 2021 ; Costin et al., 2018 ; Gaur & Tawalare, 2022).

Les retours d'expérience de projets d'infrastructures de transport ayant utilisé le BIM révèlent que l'interopérabilité demeure un enjeu majeur en ce qui concerne le déploiement du BIM dans les projets, et ce malgré les nombreux efforts déployés pour pallier ce problème (S. A. Biancardo, Intignano, Viscione, Guerra De Oliveira, & Tibaut, 2021 ; Costin et al., 2018 ; Kenley, Harfield, & Behnam Manesh, 2016 ; Matejov & Šestáková, 2021). Dans le même ordre d'idées, on note la question de normes d'échange de données (Bawono et al., 2021 ; Cepa et al., 2023). Les défis sur le plan techniques comprennent également la capacité à gérer des fichiers volumineux tout au long des projets (Bawono et al., 2021 ; Mitchell et al., 2023), et la performance des équipements informatiques, qui reste à améliorer (Bawono et al., 2021 ; Bensalah et al., 2019 ; Gaur & Tawalare, 2022).

Bien que les processus BIM soient reconnus pour améliorer la collaboration entre les parties prenantes tel que vu dans le paragraphe précédent, le manque de compréhension commune de la collaboration entre les différentes organisations participant à un projet d'infrastructure est un enjeu majeur lié aux processus (Kurwi et al., 2021, 2017). Un autre enjeu lié aux processus qui émerge est la nécessité de rationaliser le processus d'affaires de l'industrie des infrastructures de transport après l'application du BIM (Costin et al., 2018). De manière générale, la gestion du changement est un défi important à considérer pour l'implantation du BIM (Sacks et al., 2018).

Il existe également des défis de l'implantation du BIM liés aux mentalités. Il s'agit notamment de la résistance au changement des professionnels (Bawono et al., 2021 ; Costin et al., 2018 ;

Gaur & Tawalare, 2022), la réticence à adopter et à utiliser de nouvelles technologies (Gaur & Tawalare, 2022) et le temps de mise de mise en œuvre du BIM très long, qui peut causer un découragement du personnel (Matejov & Šestáková, 2021 ; Mitchell et al., 2023).

Les principaux enjeux relevés dans les articles étudiés sont regroupés dans le Tableau 1.3.

Tableau 1.3 Enjeux et défis de l'implantation du BIM et leurs occurrences dans la littérature

	Interopérabilité des systèmes	Gestion du changement	Définition juridique relative au modèle BIM	Qualification de la main d'œuvre	Compréhension commune et d'application d'une collaboration effective	Gestion optimale de l'information	Différents niveaux de maturité du BIM	Disponibilité de bibliothèques de composants	Réticence à maîtriser de nouvelles technologies	Mise en place de structures organisationnelles favorables au BIM	Définition claire des rôles et responsabilités	Résistance au changement	Coût d'investissement de la transition	Attribution des paramètres aux géométries des objets	Disposer de matériels et logiciels informatiques adaptés	Manipulation de fichiers volumineux	Temps de mise en œuvre du BIM très long	Absence de normes appropriées
(Bawono et al., 2021)		x										x			x	x		x
(Bensalah et al., 2018, 2019)		x	x	x	x	x	x											
(S. A. Biancardo et al., 2021)	x										x							
(Cepa et al., 2023)	x			x	x							x			x			x
(Ciccone et al., 2022)								x						x				
(Costin et al., 2018)	x	x	x	x					x	x			x					
(Gaur & Tawalare, 2022)		x	x	x									x					
(Kenley et al., 2016)	x																	
(Kurwi et al., 2021)	x				x		x											
(Kurwi et al., 2017)		x			x	x			x									
(Matejov & Šestáková, 2021)	x					x			x				x				x	
(Mitchell et al., 2023)	x	x										x				x	x	
(Neves et al., 2019)	x							x										
(Nuttens et al., 2018)		x	x				x											
(Pasetto et al., 2020)	x							x						x				
(Sacks et al., 2018)		x	x	x	x	x			x	x								
(Smith, 2014)			x				x	x										
(Suchocki, 2017)	x								x									
(van Eldik et al., 2020)	x																	
(Wang & Zhang, 2021)									x	x								
Total	11	8	6	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2

1.4 État de l'art de l'utilisation du BIM dans les projets de transport

Dans ce paragraphe, des exemples de projets d'infrastructures de transport ayant eu recours au BIM à l'échelle mondiale, sont présentés. Ces illustrations concrètes viennent enrichir les applications et les usages du BIM évoqués précédemment.

1.4.1 Projets routiers

1.4.1.1 Projet de corridor du Pont Samuel-De Champlain au Canada

Le projet de corridor du pont Samuel-De Champlain est un mégaprojet en Amérique du Nord, comprenant la construction d'un nouveau pont Samuel-De Champlain de 3,4 kilomètres, et d'un nouveau pont pour L'Île-des-Sœurs de 470 mètres; l'élargissement et l'amélioration des autoroutes 15 et 10, et de la route 132. Le projet a été mené dans le cadre d'un partenariat public-privé entre le Infrastructures (Infrastructure Canada, 2015). Le Groupe Signature sur le Saint-Laurent, partenaire privé, a été chargé de la conception, la construction le financement, et l'exploitation et la maintenance du pont sur 30 ans. Le coût global de ce contrat est de 4,239 milliards de dollars canadiens, mais la construction elle-même a coûté 2,15 milliards de dollars canadiens (G. W. Prime, 2020). Le Tableau 1.4 résume les points saillants de ce projet.

Le projet s'est heurté à de nombreux défis techniques, et environnementaux (climat et sismicité de la zone), et l'utilisation du BIM et des technologies numériques a permis d'obtenir une conception stable, d'optimiser les travaux sur le chantier, et de mettre en place un système efficace pour la planification des travaux de maintenance (G. W. Prime, 2020).

La collaboration et la révision des données de conception ont été facilitées tout au long du projet grâce à la maquette numérique. Les scans 3D géoréférencés ont été utilisés pour réaliser l'inspection en 3D de la structure. Les drones ont facilité la surveillance pendant la construction, et également permis aux équipes de construction d'aligner efficacement les activités en fonction des défis rencontrés sur le site. Des capteurs ont été incorporés à la structure du pont afin de surveiller étroitement son état. La préfabrication a permis d'optimiser

le temps de construction. Tous les systèmes de transport intelligents qui ont été installés sur le pont sont utilisés pour l'exploitation et la maintenance du pont. (G. W. Prime, 2020).

Tableau 1.4 Fiche du projet de corridor du pont Samuel-De Champlain

Nom du Projet	Projet de corridor du Pont Samuel-De Champlain
Localisation	Montréal, Québec, Canada
Maître D'ouvrage	Infrastructures Canada
Partenaires de réalisation	Groupe Signature sur le Saint-Laurent (SSL)
Étendue du projet	3,4 km de voie, nouveau pont de 470 m, élargissement et amélioration d'autoroutes
Montant de l'accord de PPP	4,239 milliards CAD
Début de l'accord PPP	2015
Date d'ouverture au Public	2019
Usages BIM	Modélisation 3D, planification 4D, support pour la préfabrication, support pour la surveillance, planification de la maintenance

1.4.1.2 Projet d'échangeur des routes Inter-États 80 et 380 aux États-Unis

Il s'agit d'un projet pilote mené par le ministère des Transports de l'Iowa. La section prise en compte s'étend sur environ 1,3 km de voie et comprend 3 rampes en structure d'acier dont la première a 5 travées, la seconde 3, et la troisième en compte 13 (Reese, 2020). Le projet qui a débuté en 2018, est prévu d'être achevé d'ici 2024, même si une partie est déjà ouverte à la circulation depuis août 2023 (Barraza, 2023 ; Reese, 2020). Le coût de ce projet pilote a été estimé à 389,5 millions USD (Barraza, 2023), soit environ 526 millions CAD (XE, 2023). Ces informations sont résumées dans le Tableau 1.5.

Le BIM a été utilisé dans le projet principalement pour le montage d'une maquette numérique 3D détaillée. Les logiciels OpenBridge Modeler™, ProStructures™, MicroStation CONNECT™, i-Model Transformer™, et ProjectWise™ (Environnement de données commun) ont été utilisés, pour développer le modèle (Reese, 2020 ; Yelda, 2020).

Tableau 1.5 Fiche du Projet d'échangeur à Iowa City

Nom du projet	I-80/I-380 SYSTEMS INTERCHANGE
Localisation	Iowa City, Iowa
Etendue Du Projet	Rampes multi-travées en structure d'acier de plus de 1.3 Km
Estimation Budgétaire	526 millions CAD
Date De Début	Août 2018
Date De Fin Prévue	2024
Usages BIM	Modélisation 3D

1.4.1.3 Projet du Pont de Randselva en Norvège

Le pont de Randselva, réputé comme le plus long du monde sans plans 2D (634 m), a été entièrement conçu à l'aide du Building Information Modeling (BIM), en se basant sur la plateforme TEKLA (Ulvestad & Vieira, 2021). Cette approche avait plusieurs objectifs, dont la facilitation de la compréhension du projet par toutes les parties prenantes grâce au modèle 3D, la détection précoce et la résolution des conflits pour économiser des coûts de construction, l'automatisation du processus de pré-construction via la conception paramétrique, la promotion de la collaboration inter-état grâce à l'accessibilité de la maquette, la simplification de l'approvisionnement, et le transfert direct des informations du modèle sur le site pour une construction optimale « *BIM2FIELD* » (Ulvestad & Vieira, 2021). La fiche descriptive du projet est donnée par le Tableau 1.6.

Le modèle, réalisé avec TEKLA, a été traduit en fichiers IFC par Trimble Connect pour être utilisé par l'entrepreneur. Environ 95 % de toutes les informations ont été transférées au moyen de fichiers IFC, et la conception paramétrique a été utilisée pour modéliser environ 70 % de tous les objets. Le modèle BIM comportait plus de 200 000 barres d'armature et 250 câbles de post-tension, et l'équipe de conception était répartie dans quatre villes et quatre pays. La collaboration et la communication ont été facilitées par le partage de modèles (TEKLA, s.d.).

Le flux de travail organisé autour de la maquette BIM est présenté à la Figure 1.1.

Tableau 1.6 Fiche du projet du pont de Randselva

Nom du Projet	Projet de Construction du Pont de Randselva
Localisation	Honefoss, Norvège
Maître D'ouvrage	Administration Norvégienne des routes publiques
Partenaires de réalisation	<ul style="list-style-type: none"> • Conception: Armando Rito Engenharia, Sweco Norway • Construction: PNC Norway
Étendue du projet	Pont en superstructure de 7 travées d'une longueur totale de 634 m
Ouverture au Public	2022
Usages BIM	Modélisation 3D, BIM 4D, BIM 5D, Coordination 3D, ...

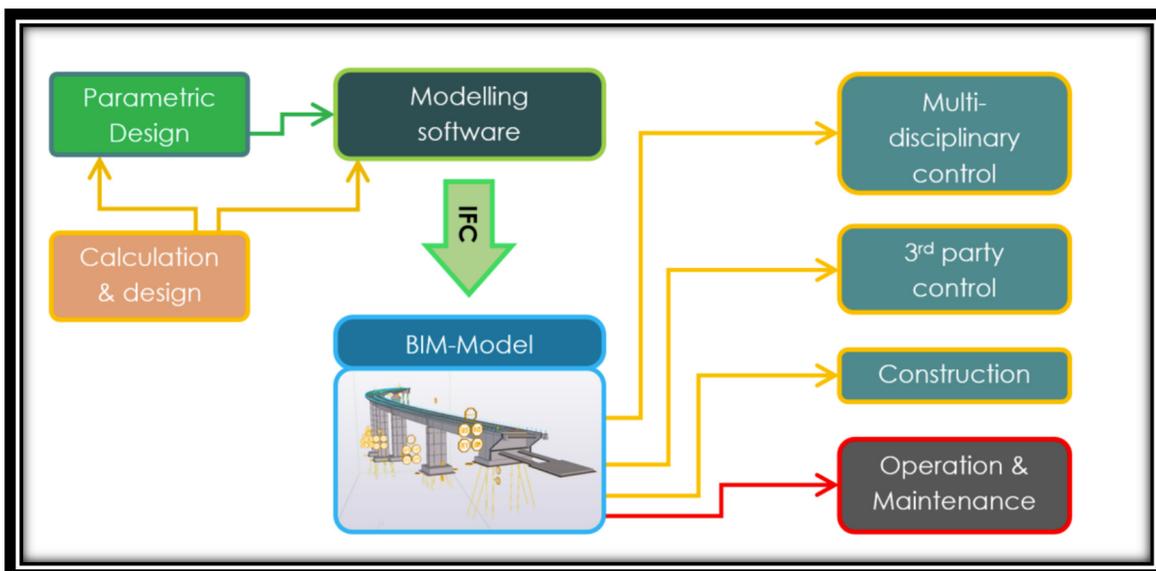


Figure 1.1 Flux BIM et les utilisateurs du modèle
Tirée de Ulvestad & Vieira (2021, p. 12)

1.4.1.4 Projet de modernisation d'une autoroute existante en Australie

L'objectif principal de ce projet était d'étendre l'autoroute sur 4,2 km, en la faisant passer de 4 à 6 voies. Il s'agit d'un projet pilote pour implanter le BIM, passé sous mode d'alliance de

partenariat. Le BIM a donc été mis en œuvre très tôt dans le projet, avec la participation de toutes les parties prenantes à la conception du modèle numérique (Chong et al., 2016). La durée initiale était de 12 mois, mais le projet a été livré 3 mois à l'avance, avec un budget estimé à 175 millions de dollars australiens (Chong et al., 2016), soit environ 151 millions de dollars canadiens (XE, 2023). La fiche descriptive du projet est donnée par le Tableau 1.7.

Les usages BIM pour ce projet comprennent : création de modèles numériques (3D, 4D et 5D), coordination d'équipes multidisciplinaires, analyse structurale, relevé des quantités détection des conflits, analyse d'opérations de construction, planification de la construction, association BIM-GIS pour la mise à jour du modèle conformément au tel que construit (Chong et al., 2016).

Les outils BIM utilisés dans le projet d'étude de cas australien étaient Autodesk AutoCAD Civil 3D et Navisworks, ainsi que 12D Model et Bentley MXRoad (Chong et al., 2016).

Tableau 1.7 Fiche du projet de modernisation d'une autoroute en Australie

Nom du projet	Modernisation de l'autoroute du Grand Est (Great Eastern Highway)
Localisation	Perth, Australie
Maître D'ouvrage	Main Roads Western Australia
Partenaires de réalisation	City East Alliance (CEA), composé de : Main Roads, Leighton Contractors, GHD et NRW
Étendue du projet	Élargissement d'une autoroute sur 4,2 km existante de 4 à 6 voies
Estimation Budgétaire	151 millions de CAD
Durée du projet	9 mois
Ouverture au Public	Juin 2013
Usages BIM	Modélisation 3D, BIM 4D, BIM 5D, Coordination 3D, BIM-GIS, Analyses structurales

1.4.1.5 National Highways- A556 route à deux voies

Cette étude de cas (Mitchell et al., 2023) porte sur l'une des autoroutes gérées par National Highways, qui est la plus grande autorité routière du Royaume-Uni. Il s'agit de l'autoroute A556 dans le Cheshire, en Angleterre. L'objectif du projet était d'améliorer la capacité et la géométrie de cette autoroute de 7,6 kilomètres. Le projet, mené sous forme d'un contrat de conception-construction, comprenait la conversion de l'autoroute existante en une route à chaussées séparées, la construction de sept nouveaux ponts, d'un passage souterrain pour les piétons et des travaux de rénovation de deux ponts existants. Le coût total du projet s'élevait à 200 millions de livres sterling, soit près 335 millions de dollars canadiens (XE, 2023). Le projet a été divisé en trois phases : une phase de planification de 18 mois, une phase de conception de 18 mois et une phase de construction de deux ans. La fiche descriptive de ce projet est présentée au Tableau 1.8.

Le BIM a été utilisé dans ce projet pour : la création d'un modèle 3D et la revue de conception; l'estimation des quantités; la coordination 3D des modèles; le guidage automatisé des machines; le développement du modèle d'enregistrement/modèle numérique tel-que-construit (Mitchell et al., 2023). La phase d'exploitation a été gérée en s'appuyant sur les données SIG, qui sont alimentées par le contenu des modèles 3D.

Tableau 1.8 Fiche du projet de l'autoroute A556, Cheshire, Angleterre

Nom du projet	Réaménagement et amélioration de l'autoroute A556
Localisation	Cheshire, Angleterre
Maître D'ouvrage	National Highways
Partenaires de réalisation	Costain
Étendue du projet	Conversion de l'autoroute existante
Estimation Budgétaire	335 millions de CAD
Début de la construction	2014
Ouverture au Public	2017
Usages BIM	Modélisation 3D, revue de conception, estimation des quantités, guidage automatisé des machines

1.4.2 Projets ferroviaires

1.4.2.1 Regional connector Transit aux États-Unis

Le projet de Regional Connector est un projet de métro léger sur rail d'environ 3 km, permettant de faciliter l'accès au centre-ville de Los Angeles. Le projet a été réalisé sous un contrat conception-construction, avec l'utilisation de technologies innovatrices. Le budget total du contrat débuté en 2014 est estimé à environ 2,37 milliards CAD (Prime, 2021). Il a été ouvert au public en juin 2023 (Colman, 2023). Les éléments du projet sont donnés au Tableau 1.9.

Les usages BIM documentés pour ce projet comprennent la documentation 2D, la modélisation 3D détaillée, la coordination de plusieurs modèles, la planification de la construction, la détection des conflits (Prime, 2021).

Tableau 1.9 Fiche du projet de Regional Connector Los Angeles

Nom du projet	Regional Connector Transit Project
Localisation	Los Angeles, Californie, USA
Maître d'ouvrage	Autorité de transport métropolitaine du comté de Los Angeles
Partenaires de réalisation	<ul style="list-style-type: none"> • Skanska USA Civil Western California District Inc. • Traylor Bros., Inc. • Hatch Mott MacDonald
Portée	Environ 3 km de linéaire; Creusement et forage de tunnels; construction de 3 nouvelles stations
Coût	1,89 milliards CAD
Début	2014
Ouverture au public	Juin 2023
Usages BIM	Documentation 2D, modélisation 3D, coordination 3D, BIM 4D

1.4.2.2 Réseau Express Métropolitain (REM) à Montréal, Québec

Le Réseau Express Métropolitain (REM) est un système de métro léger sur rail entièrement automatisé, qui traverse la ville de Montréal sur 67 km. Au total, 26 stations sont prévues tout au long du réseau. Le projet est réalisé selon le mode contractuel d'Ingénierie, Approvisionnement et Construction (IAC), par le consortium NouvLR (REM, s.d.). Le coût global du projet a été estimé à 7,95 milliards de dollars canadiens en septembre 2023 (REM, 2023). Les travaux de construction ont débuté en avril 2018, et actuellement la phase 1 (16,6 km et 5 stations) est en service depuis août 2023; la mise en service des phases 2 et 3 est prévue respectivement pour fin 2024, et 2027 (REM, 2021). Les informations relatives à ce projet sont présentées dans le Tableau 1.10.

Le BIM a été mis en œuvre dans le cadre de ce projet afin de relever le défi d'intégration du grand nombre de parties prenantes (800 personnes travaillant dans cinq pays différents seulement pour l'équipe d'ingénierie) et de gestion de l'énorme quantité de données générées au quotidien pour ce projet (AtkinsRéalis, s.d.). Le BIM a permis de réaliser et de visualiser la conception et la construction sur une plateforme partagée, favorisant ainsi la collaboration multidisciplinaire, et la communication du projet (AtkinsRéalis, s.d. ; Ganao & Loubar, 2023). Les données de la maquette numérique ont également servi support pour la préfabrication et la conception modulaire (AtkinsRéalis, s.d.). Les technologies LiDAR et GPR (Ground-penetrating Radar) ont également été utilisées au cours de ce projet, et les données générées ont été intégrées à la maquette BIM (Nasri, Vovou, & Jeon, 2020).

Tableau 1.10 Fiche du projet du REM

Nom du projet	Réseau Express Métropolitain
Localisation	Montréal, Québec, Canada
Maître d'ouvrage	CDPQ Infra (Caisse de dépôt et placement du Québec)
Partenaires de réalisation	Groupement NovvLR composé de SNC-Lavalin, Dragados Canada Inc., Groupe Aecon Québec Ltée, Pomerleau Inc., EBC Inc.; SNC-Lavalin, Aecom Consultants Inc.; Lemay, Bisson Fortin, Perkins + Will, Provencher Roy
Portée	26 stations + 67 km
Coût	7,95 milliards CAD
Début (travaux)	2018
Date de mise en service	Phase 1 : 2023; Phase 2 : 2024; Phase 3 : 2027
Usages BIM	Modélisation 3D, coordination 3D, collaboration multidisciplinaire, acquisition de l'existant,

1.4.2.3 Projet InterCity en Norvège

Il s'agit d'une initiative de plusieurs projets ferroviaires dans le sud-est de la Norvège, envisageant la construction de 270 km de nouvelles voies doubles et de 25 gares. Le coût total de l'investissement a été estimé à 150 milliards de couronne norvégienne (NOK) (BANE NOR, 2018), soit environ 18,82 milliards de dollars canadiens (XE, 2023). La planification en utilisant le BIM a permis globalement de réduire l'impact environnemental, et d'avoir une meilleure transparence (Bui, Merschbrock, Munkvold, & Lassen, 2018). Les informations relatives à ce projet sont présentées dans le Tableau 1.11.

Le projet implique divers usages du BIM, englobant la création de plusieurs modèles distincts. Il s'agit notamment des modèles de base, qui représentent la situation existante, des modèles de disciplines, du modèle coordonné destiné à détecter d'éventuels conflits entre les différentes disciplines, des modèles de présentation pour faciliter la communication du projet aux parties prenantes, et enfin du modèle tel que construit (Lysebo, 2016). Ce projet a atteint un niveau de

détail très avancé dans la modélisation 3D, assurant ainsi un meilleur contrôle qualité, une accessibilité en temps réel à l'information, la possibilité de la mettre à jour à tout moment, ainsi que le partage efficace des données et des connaissances acquises au cours du développement du projet. (Lysebo, 2016).

Tableau 1.11 Fiche du projet ferroviaire Intercity

Nom du projet	Intercity Railway Project
Localisation	Norvège
Maître d'ouvrage	Bane NOR
Partenaires de réalisation	Plusieurs groupements d'entreprises pour les différents tronçons
Portée	270 km de linéaire et 25 stations
Coût	18,82 milliards CAD
Début (travaux)	2018
Date de livraison estimée	2034
Usages BIM	Planification, Modélisation 3D, Coordination, Détection des conflits

1.4.2.4 Grand Paris Express, France

Le programme du Grand Paris express est un vaste projet ferroviaire dans la ville de Paris, comprenant 200 km de ligne de métro et 68 gares (Société du Grand Paris, 2021). L'envergure et la complexité du projet en ont fait un moyen idéal de mettre en œuvre le BIM à grande échelle dans les projets d'infrastructures en France. Le budget total du projet a été estimé en 2020 à 42 milliards d'euros₂₀₂₀ (Bazin et al., 2020), équivalent à environ 47 milliards d'euros₂₀₂₃ (France-Inflation.com, s.d.), soit 67,4 milliards de dollars canadiens (XE, 2023). Le Tableau 1.12 résume les informations relatives à ce projet.

Dans le cadre du projet, les usages BIM définis dans la Charte BIM de la Société du Grand Paris sont variés et contribuent à optimiser la gestion et le suivi de l'avancement du projet (Société du Grand Paris, 2021). La revue du projet en BIM implique l'utilisation de la maquette

numérique pour suivre l'état d'avancement du projet en temps réel. La synthèse 3D, la gestion spatiale et l'analyse des incohérences reposent sur l'échange de maquettes et de fichiers géolocalisés, favorisant une collaboration efficace. La gestion des temporalités, l'ordonnement et la planification 4D permettent d'intégrer la dimension temporelle dans la conception. La génération des livrables, la production des plans contractuels et le support pour la prise des mesures facilitent la communication et l'estimation des coûts. Le contrôle et la validation des données sont assurés, facilitant l'identification précise d'objets ou d'espaces spécifiques. Les supports pour la communication, tels que les films 3D et les applications de réalité augmentée, renforcent la compréhension du projet. Enfin, la production du Dossier des Ouvrages Exécutés en BIM assure que chaque objet de la maquette est lié à toutes les informations le concernant, offrant une vision exhaustive du projet tel que construit. Ces usages démontrent l'intégration complète du BIM dans toutes les phases du projet, favorisant une approche collaborative et une gestion efficace de l'information. (*L'usage des maquettes BIM par la Société du Grand Paris*, 2021):

Tableau 1.12 Fiche du Projet Grand Paris Express

Nom du projet	Grand Paris Express
Localisation	France
Maître d'ouvrage	Société du Grand Paris
Partenaires de réalisation	Plusieurs Groupements d'entreprises pour les différentes phases
Portée	200 km de ligne de métro et 68 stations
Coût	67,4 milliards CAD
Début	2011
Date de livraison estimée	2030
Usages BIM	Modélisation, Estimation des coûts, Communication visuelle, Planification 4D, contrôle et validation

1.4.2.5 Projet de la ligne Elisabeth, au Royaume-Uni

Le projet de la ligne Elisabeth (anciennement Crossrail) est l'un des plus grands projets d'infrastructure en Europe. Il s'étend sur 118 km, avec 21 km de tunnels bitubes. L'enveloppe globale du projet a été estimée en 2020 à 18,6 milliards de Livres Sterling, soit environ 30,55 milliards de dollars canadiens (Transport Committee, 2020 ; XE, 2023). La forme de contrat NEC3 ECC (*NEC3 : Engineering and Construction Contract*), a été adoptée pour la réalisation du projet (Hands & Morrice, 2018). Le projet Crossrail a débuté en 2007 avec les études, et les travaux ont été lancés dès 2009 (Smith, 2014 ; Transport Committee, 2020). La ligne a été ouverte au public en 2022. Le Tableau 1.13 résume ces différentes informations.

L'envergure du projet et le grand nombre de parties prenantes (plus de 100 contrats différents pour la conception, la réalisation des travaux) représentait un risque énorme d'interférences et de mauvaise communication, raison pour laquelle le BIM a été mis en œuvre, comme solution de mitigation de ce risque. Les usages BIM comprennent notamment : la création des modèles 3D, 4D et 5D, estimation des coûts, planification des travaux, l'intégration BIM-GIS, la simulation en réalité augmentée, le transfert des informations aux équipes de maintenance (Taylor, 2018). Les outils BIM utilisés pour comprennent entre autres : Primavera, ProjectWise, Bentley Building Suite, Synchro Pro Navisworks, Solibri (Taylor, 2018).

Tableau 1.13 Fiche du projet de la ligne Elisabeth

Nom du projet	Elisabeth Line
Localisation	Londres, Royaume Uni
Maître d'œuvre	Crossrail Limited
Partenaires de réalisation	Becthtel Civil Limited
Portée	118 km de linéaire + 21 km de tunnels bitubes
Coût	30,55 milliards CAD
Début (travaux)	2009
Date d'ouverture au public	2022
Usages BIM	Modélisation, réalité augmentée, estimation des coûts, planification des travaux, transfert des informations de maintenance.

1.4.3 Projets aéroportuaires

1.4.3.1 Aéroport international du Prince Mohammad Bin Abdulaziz

Ce projet fait partie des études de cas présentées par Sacks, Eastman, Lee, & Teicholz dans l'ouvrage « *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers* ». L'utilisation du BIM pour l'exploitation et la maintenance d'actifs y est présentée.

L'Aéroport a été mis sur pied selon le modèle du partenariat public-privé, entre le consortium Tibah Airports Development Company Limited, et l'autorité chargée de l'aviation civile en Arabie Saoudite. L'accord de partenariat a été estimé à 1,2 milliards de dollars américains (Sacks et al., 2018), correspondant à environ 1,69 milliards de dollars canadiens (XE, 2023).

Le BIM a été mis en œuvre pour la phase d'exploitation et de maintenance, principalement pour servir de source d'informations compréhensibles, accessibles et fiables sur les actifs bâtis. Un modèle BIM a été créé vers la fin de la construction, à l'aide des plans 2D, et des documents existants. Le modèle a ensuite été enrichi d'informations et de données jugées utiles à

l'exploitation par l'ensemble des parties prenantes. La description de ce projet est résumée dans le Tableau 1.14.

En résumé, les usages BIM pour ce projet comprennent la planification de la maintenance, la gestion des espaces et suivi, la gestion de l'actif, la création d'un modèle d'enregistrement. Les outils ayant permis ces usages sont : EcoDomus-FM, Navisworks, IFS, Aconex, Revit, et la technologie de Scan Laser a également été utilisée.

Tableau 1.14 Fiche du projet de l'Aéroport International du Prince Mohammad Bin Abdulaziz

Nom du projet	Aéroport International du Prince Mohammad Bin Abdulaziz
Localisation	Médina, Arabie Saoudite
Maître d'ouvrage	Autorité de l'aviation civile de l'Arabie Saoudite
Partenaires de réalisation-exploitation	Consortium Tibah Airports Development Company Limited
Portée	156 940 m ² de surface bâtie, 1 500 000 m ² pour les pistes d'atterrissage, de voie de circulation, et aires de trafic
Coût	1,64 milliards CAD
Début	2011
Durée de l'accord de PPP	25 ans
Usages BIM	Planification de la maintenance, gestion des espaces et suivi, gestion des actifs, création d'un modèle d'enregistrement

1.4.3.2 Projet « 2BBD » à l'aéroport de Paris-Charles de Gaulle

Le projet d'extension de l'aéroport de Paris-Charles De Gaulles, porté par le groupe ADP (Aéroport de Paris), est un projet complexe pour lequel l'utilisation des technologies numériques et du BIM a été d'une grande utilité. Le projet a consisté en la réhabilitation du terminal 2B de l'aéroport, et la création d'un nouveau bâtiment pour la liaison entre les terminaux B et D. Les travaux ont duré près de 4 ans, et le coût du projet a été estimé à environ

300 millions d’euros, soit environ 440 millions de dollars canadiens (Groupe ADP, s.d.). La description de ce projet est résumée dans le Tableau 1.15.

La conception a été facilitée grâce à l’acquisition des conditions de terrain existantes, réalisée à l’aide des scans 3D. La collaboration entre les parties prenantes du projet a été rendue possible par la centralisation des données du projet autour d’une plateforme unique. Une maquette numérique du tel que construit a été réalisée, afin de servir pour la phase de maintenance et exploitation. Dans le cadre de ce projet, une bibliothèque BIM spécifique aux ouvrages aéroportuaires (mobilier, signalétique, poste de contrôle, équipement technique) a également été créée. Parmi les logiciels utilisés, on peut citer Revit, Navisworks, Mezzoteam, Resolving, BIMTrack (Bâtiment (CTB), 2021).

Tableau 1.15 Fiche du projet 2BBD

Nom du projet	2BBD
Localisation	Paris, France
Maître d’ouvrage	Groupe Aéroports de Paris (Groupe ADP)
Entreprises	Bouygues -Brézillon-Baudin Chateauneuf, Axima, Ineo, Alstef
Portée	77 500m ² surfaces construites, réhabilitées ou rénovées
Coût	440 millions CAD
Début	Juillet 2017
Date de livraison	Mars 2021
Usages BIM	Acquisition des conditions existantes, Modélisation 3D, Maquette numérique du tel-que-construit.

1.4.3.3 Agrandissement et Réaménagement à L'Aéroport International Jean-Lesage de Québec

Ce projet, nommé YQB 2018, représente un investissement de 277 millions de dollars canadiens (Stantec, 2018). Il s'agit d'un agrandissement de plus de 21 340 m² de l'aérogare, y compris la réhabilitation et la mise à niveau des systèmes électriques des pistes d'atterrissage de l'aéroport (Stantec, 2018). Le projet est géré à l'interne, par une équipe dédiée de l'Aéroport de Québec Inc, qui a sollicité les services des firmes GLCRM, WSP, SNC-Lavalin, Stantec, Pormerleau et SITA (BIMTRACK, s.d. ; Vallée, 2016). La description de ce projet est résumée dans le Tableau 1.16.

Pour ce projet le BIM ouvert (OpenBIM) a été utilisé, à travers les standards IFC (Industry Foundation Classes), BCF (BIM Collaboration Format), et MVD (Model View Definition). Le BCF a été utilisé comme format de communication entre les différentes parties prenantes, afin de réaliser une gestion optimisée de la coordination BIM. L'IFC et le MVD ont été utilisés pour fournir des données calculables, valides, mais contrôlées aux soumissionnaires pendant la phase d'appel d'offres. L'IFC a été utilisé également pour protéger la propriété intellectuelle des parties prenantes au projet (BIMTRACK, s.d.).

Les logiciels utilisés pour l'application des standards BIM ouverts sont : Solibri®, BIM Track®, Revit®, Navisworks®, BCFier®, et Tekla (BIMTRACK, s.d.).

Tableau 1.16 Fiche du projet de l’Aéroport Jean-Lesage de Québec

Nom du projet	Agrandissement et Réaménagement à L’Aéroport International Jean-Lesage de Québec
Localisation	Ville de Québec, Québec, Canada
Maître d’ouvrage	L’aéroport de Québec Inc (AQI)
Partenaires de réalisation-exploitation	Stantec
Portée	21340 m ² de superficie d’agrandissement, 160000 m ² d’asphalte usé à retirer
Coût	277 millions CAD
Usages BIM	Modélisation 3D, Coordination 3D, Utilisation de formats ouverts (OpenBIM),

1.4.3.4 Programme “Airport-Hotel and Transit Center”

Ce projet estimé à près de 971 millions CAD, comprend la construction d’un centre de transit ferroviaire et d’un hôtel de 519 chambres (Mitchell et al., 2023). L’Aéroport International de Denver (DEN en forme courte) qui est le maître avait comme attente principale de la mise en œuvre du BIM pour ce projet de gérer efficacement les risques de projet. Le projet a été réalisé contrat CM/GC (Construction Manager/General Contractor) (Mitchell et al., 2023), permettant à l’entreprise de construction d’être intégrée assez tôt dans le projet (pendant la phase de conception), et ainsi mener une étude de constructibilité (Hogge, 2023 ; Mitchell et al., 2023). La description de ce projet est résumée dans le Tableau 1.17.

Les usages du BIM dans ce projet comprennent : la création d’un modèles 3D et 4D, l’estimation des coûts et des délais, la coordination des modèles, inspection de l’actif bâti, et la compilation du modèle d’enregistrement (Mitchell et al., 2023).

Le BIM a permis dans ce projet de réaliser des économies de coûts et de temps considérables, notamment en grâce à la facilité de recherche de l’information appropriée, à la réutilisation des données et aux ordres de modification évités.

Tableau 1.17 Fiche du projet Aéroport International de Denver.

Nom du projet	Airport-Hotel and Transit Center (HTC)
Localisation	Denver, Colorado (États-Unis)
Maître d'ouvrage	Aéroport International de Denver
Portée	Construction d'un centre de transit ferroviaire de banlieue et d'un hôtel de 519 chambres
Coût	971 millions CAD
Début	2007
Usages BIM	Modélisations 3D, 4D; Estimation des coûts et délais, Coordination, inspection, modèle d'enregistrement

Après avoir exploré divers exemples de l'utilisation fructueuse du BIM dans des projets d'infrastructures à travers le monde, il est impératif de comprendre comment ces expériences influent sur les initiatives gouvernementales de mise en œuvre du BIM. Cette transition nous conduit à explorer les actions et politiques mises en place par les gouvernements pour intégrer le BIM de manière systématique dans le secteur des infrastructures de transport.

1.5 Initiatives passées et stratégies de mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures de transport

L'intégration croissante du BIM dans les projets d'infrastructures de transport est perceptible à travers les exemples cités précédemment. Malgré la reconnaissance de son efficacité opérationnelle, la compréhension globale de cette approche, notamment du côté des donneurs d'ouvrages publics, demeure limitée. Les actions spécifiques nécessaires pour garantir le succès de la mise en œuvre du BIM dans ces projets restent largement méconnues de ces acteurs (Miceli Junior et al., 2019). Toutefois, certains organismes gouvernementaux du secteur des transports à l'échelle mondiale ont élaboré des feuilles de route définissant des actions et des axes stratégiques pour orienter la mise en œuvre du BIM au sein de leurs projets. C'est notamment le cas aux États-Unis, en Allemagne, au Royaume-Uni, dans les pays Scandinaves (Norvège, Suède, Danemark et Finlande).

1.5.1 Initiatives gouvernementales

Aux États-Unis, les progrès dans l'adoption du BIM par les propriétaires d'infrastructures de transport, notamment dans le domaine routier, relativement lents par rapport à d'autres secteurs tels que les bâtiments, malgré une documentation croissante des avantages de l'adoption du BIM dans le domaine des infrastructures de transport. Cette situation découle de la complexité de garantir la continuité de la modélisation et de l'échange de données à travers divers systèmes logiciels tout au long du cycle de vie des projets, ainsi que de la nécessité d'organiser la collaboration entre les parties prenantes internes et externes. Malgré cette lenteur, les États-Unis demeurent des leaders mondiaux dans l'utilisation de la modélisation 3D, particulièrement dans le contexte des infrastructures routières (Mallela et al., 2021).

Dans le cadre de l'intégration du BIM pour les infrastructures de transport, une approche de benchmarking a été adoptée aux États-Unis. Cette approche impliquait l'étude approfondie des pratiques d'organismes BIM considérés comme "matures" au Royaume-Uni, aux Pays-Bas, en Norvège, en Suède et en Finlande. L'objectif était d'analyser en détail les aspects fondamentaux de l'application du BIM pour les infrastructures, afin d'identifier des bonnes pratiques et des leçons apprises (Mallela et al., 2021).

Les recommandations découlant de cette étude de benchmarking se concentrent sur deux axes majeurs. D'une part, elles mettent l'accent sur la gestion globale de la mise en œuvre et la communication de l'initiative, avec des actions visant la compréhension des principes fondamentaux du BIM et leur mise en pratique, l'établissement d'un programme de financement commun, la création d'un plan de mise en œuvre, la participation aux programmes BIM nationaux, et le lancement d'un plan de communication/marketing. D'autre part, des recommandations plus techniques sont proposées, comprenant l'adoption de termes, classifications et normes de modélisation, la « libération des données » pour favoriser l'interopérabilité, la standardisation des processus de modélisation et d'échange, la compilation et normalisation des exigences d'information, ainsi que le développement de modèles de contrat basés sur des modèles (Mallela et al., 2021).

À la suite de cette étude, les États-Unis ont élaboré une feuille de route pour le déploiement du BIM dans les projets routiers, publiée par l'organisme américain chargé du transport routier en 2021 (Federal Highway Administration, 2021). Cette feuille de route prévoit des adaptations spécifiques de la part des organismes de transport de chaque État, en harmonie avec leur contexte particulier. Plusieurs États, dont la Californie, l'Arizona, l'Iowa et la Pennsylvanie, ont également élaboré leurs propres feuilles de route pour la mise en œuvre du BIM dans les infrastructures. Ces initiatives régionales contribuent à façonner la transition vers le BIM dans le secteur des transports aux États-Unis. (Arizona Department of Transportation, 2023; Iowa Department of transportation, 2022; Pennsylvania Department of Transportation, 2020; Ravani, Donohoe, Shams, & Yen, 2020).

Cette approche de benchmarking des États-Unis s'appuie sur le fait que certains pays d'Europe et Asie sont relativement avancés en matière de BIM pour les projets d'infrastructures (Mallela et al., 2021). Ainsi, les pays tels que l'Allemagne, l'Italie, la France, la Norvège, la Finlande, la Suède, le Royaume-Uni ont instauré l'utilisation du BIM pour les projets d'infrastructures de transport depuis quelques années déjà. Des projets pilotes pour implanter cette démarche ont été documentés dans la littérature. On peut citer en exemple le projet du tunnel ferroviaire Rastatt en Allemagne (A. Borrmann et al., 2016), de la ligne ferroviaire de Canello-Benevento en Italie (Ciccone et al., 2022), ou encore le projet de métro léger de Bergen en Norvège (phase 3) (Bensalah et al., 2018 ; Sherry, 2018). En Asie, des feuilles de route ont également été développées pour la numérisation des projets d'infrastructures de transport, notamment à Singapour, au Japon, en Corée du Sud, en Australie.

Au Canada, le déploiement du BIM, en particulier dans le secteur des transports, n'a pas atteint le niveau de maturité observé dans d'autres régions. Les provinces du Québec et de l'Alberta sont cependant reconnues comme des pionnières dans l'adoption du BIM (E. A. Poirier et al., 2022). Des progrès significatifs sont en cours, marqués par l'élaboration d'une feuille de route gouvernementale pour la mise en œuvre du BIM, publiée en 2021, au Québec. Cette initiative implique activement les donneurs d'ouvrage publics, tels que le MTMD, dans la transition

numérique, en fournissant des directives et des axes stratégiques pour une mise en œuvre réussie. Dans le secteur des transports, l'intégration progressive du BIM est en cours, avec le MTMD, principal donneur d'ouvrage pour les infrastructures de transport dans la province, qui élabore actuellement sa propre feuille de route ministérielle.(Gouvernement du Québec, 2023a).

1.5.2 Stratégies d'implantation du I-BIM

Les stratégies de mise en œuvre du BIM dans les organismes gouvernementaux opérant les infrastructures de transport sont loin d'être maîtrisées par ces acteurs (Mallela et al., 2021 ; Miceli Junior et al., 2019). Sur le plan managérial et organisationnel, les stratégies de mise en œuvre du BIM incluent l'élaboration d'une feuille de route claire et précise, la mise en place d'un système de gouvernance de données, l'organisation d'événements pour partager les avancées sur le BIM, la sensibilisation et la communication sur les innovations et meilleures pratiques BIM, l'organisation d'ateliers pour définir les pratiques BIM, l'étude approfondie des initiatives d'autres pays, et le lancement de projets pilotes (Ershadi et al., 2021 ; Mallela et al., 2021). Sur le plan des ressources humaines, la mise en place d'un accompagnement et d'un encadrement ciblés, la formation des équipes et la conduite du changement émergent comme des stratégies clés pour une mise en œuvre réussie (Bensalah, 2022 ; Ershadi et al., 2021). Sur le plan technique et technologique, le renforcement des équipements informatiques et des logiciels BIM, de développement des normes BIM adaptées au contexte des infrastructures de transport, ainsi que le développement de protocoles d'échanges d'informations sont les points relevés (Bensalah, 2022 ; Ershadi et al., 2021).

1.6 Synthèse de la revue de littérature

La mise en œuvre effective du BIM dans les projets d'infrastructures de transport est difficile à entreprendre, étant donné leur complexité. En effet, les infrastructures de transport comprennent des ouvrages aux structures complexes tels que les ponts, les tunnels, les viaducs, que ce soit sur la chaussée ou sur les chemins de fer (Costin et al., 2018). Les coûts et les délais des projets de transport sont également plus importants que ceux des projets de bâtiment, pour lesquels le déploiement du BIM est plus avancé. Cette complexité confère au BIM de grandes

opportunités pour améliorer la gestion et la réalisation de ces projets, notamment en réduisant les coûts et les délais, et en augmentant la productivité, comme le montrent les avantages d'utilisation du BIM récurrents dans la littérature.

Les enjeux et défis liés à l'implantation du BIM sont importants à considérer dans une telle démarche, afin de pouvoir mettre en place des stratégies et des actions adaptées au contexte de chaque organisation. Plusieurs études couvrent les avantages, les défis, et les usages de l'implantation du BIM pour les projets d'infrastructures en général (Cepa et al., 2023 ; Costin et al., 2018 ; Gaur & Tawalare, 2022 ; Kumar & Sarkar, 2020 ; Samimpay & Saghatforoush, 2020 ; Taylor, 2018). En particulier, selon Costin et al., (2018), l'infrastructure routière, incluant les projets de ponts routiers, tunnels routier, autoroutes, ont jusqu'ici fait l'objet du plus grand nombre d'études. Ceci est tout à fait cohérent avec le fait que l'organisme des transports routiers des États-Unis ait été le premier à initier la démarche d'adoption du BIM. Il existe néanmoins de plus en plus d'études axées sur les projets ferroviaires et aéroportuaires (Abbondati, Biancardo, Palazzo, Capaldo, & Viscione, 2020 ; Bensalah et al., 2018, 2019 ; Salvatore Antonio Biancardo, Viscione, Oreto, Veropalumbo, & Abbondati, 2020 ; Kumar & Sarkar, 2020 ; Suchocki, 2017).

L'étude de la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures de transport à l'échelle mondiale révèle des disparités, certains pays tels que le Royaume-Uni, les Pays-Bas et la Norvège étant en avance, tandis que d'autres ont encore des progrès à réaliser. L'adoption du BIM par les organismes gouvernementaux en charge des infrastructures de transport a été relativement peu explorée dans la littérature existante en termes de stratégies et d'actions pour une mise en œuvre réussie. Cependant, l'expérience des États-Unis souligne la nécessité d'étudier attentivement les initiatives passées pour en tirer des leçons et formuler des recommandations.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

2.1 Choix du type de recherche

2.1.1 Contexte de la recherche

Le ministère des Transports et de la Mobilité Durable (ci-après MTMD), est dans une démarche de transition numérique impulsée par la feuille de route gouvernementale pour l'implantation du BIM publiée en août 2021. Cette démarche, assez éprouvante en termes de ressources, nécessite une stratégie claire, une planification minutieuse et un suivi en continu, surtout pour un organisme tel que le MTMD qui compte près de 8000 employés, qui sont répartis en 10 sous-ministériats. C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet de recherche du MTMD, en collaboration avec le GRIDD (Groupe de Recherche en Intégration et Environnement Bâti), intitulé « développement d'un cadre de déploiement pour l'adoption et l'implantation de la modélisation des données sur les actifs bâtis (BIM) au ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD). » Une équipe de recherche a été constituée au GRIDD pour mener à bien ce projet.

Ce travail, débuté en mars 2022, vise essentiellement l'accompagnement du Ministère pour la conception et le pilotage d'un cadre de déploiement pour la modélisation des données sur les infrastructures (BIM). Les objectifs spécifiques de ce projet de recherche du Ministère sont d'accompagner le Ministère pour :

- Établir la situation actuelle et désirée en matière de BIM au Ministère ;
- Identifier les actions à entreprendre afin d'atteindre la situation désirée (comme intrant à la feuille de route BIM ministérielle) ;
- Sensibiliser les acteurs clés au sujet du BIM et ses implications au sein du MTMD;
- Identifier et exécuter des projets pilotes dans des directions ciblées du MTMD ;
- Cibler et développer les ressources et les compétences fondamentales à acquérir.

Ce projet de recherche a été subdivisé en 2 axes étudiés en parallèle :

- L'axe 1, visant l'accompagnement du Ministère sur le plan organisationnel, à travers la réalisation du diagnostic de la situation organisationnelle actuelle, et la formulation de recommandations pour implanter le BIM;
- L'axe 2, visant à dresser l'état des pratiques et des connaissances au niveau des projets, dans le contexte de l'adoption du BIM.

Le présent mémoire est principalement basé sur l'axe 2, et donc se concentre sur l'adoption du BIM au niveau des projets.

Au sein de l'équipe de recherche, le rôle attribué impliquait principalement :

- L'étude et l'analyse des cas d'utilisation du BIM dans les projets ferroviaires, dans un premier temps, et par la suite pour l'ensemble des infrastructures de transport, contribuant ainsi à la sensibilisation des acteurs du MTMD sur le BIM pour les infrastructures et ses implications.
- La participation à l'étude des initiatives antérieures de mise en œuvre du BIM dans les organismes gouvernementaux, par le biais du recensement et de l'analyse de feuilles de route gouvernementales de plusieurs pays.
- La collecte et l'analyse des données issues des projets ayant utilisé le BIM ou des technologies numériques en général, dans le but d'établir un état des pratiques au sein du MTMD.
- La formulation d'un plan d'actions pour la mise en œuvre du BIM au niveau des projets, basé sur les données issues des projets du MTMD.

2.1.2 Rappel des objectifs de la recherche

2.1.2.1 Évolution de la problématique

Initialement axée sur l'exploration de la mise en œuvre du BIM dans le contexte spécifique des projets d'infrastructures ferroviaires, cette recherche visait à capitaliser sur les caractéristiques variées de ces projets en termes de typologie, de coûts et de délais. Les projets ferroviaires, englobant diverses infrastructures telles que les routes, les ponts, les tunnels, les

gares, représentent une opportunité prometteuse pour déployer efficacement le BIM, comme le stipule Bensalah et al., (2019). L'idée sous-jacente était que le succès d'une démarche d'adoption du BIM pour les projets ferroviaires pourrait être extrapolé à d'autres types d'infrastructures de transport. Le but initial était donc de comprendre comment les organismes gouvernementaux gérant les infrastructures de transport ferroviaire mettaient en œuvre le BIM dans la gestion et la réalisation de ces projets spécifiques. Cependant, en raison de contraintes d'accès aux données spécifiques aux projets ferroviaires, la recherche a évolué pour englober l'ensemble des projets d'infrastructures, tout en préservant la perspective initiale sur la mise en œuvre du BIM dans la gestion et projets d'infrastructures.

Une évolution de la recherche s'est manifestée par l'adoption d'une approche d'étude de cas axée sur le MTMD, centrée sur quatre projets pilotes pour la mise en œuvre du BIM préalablement choisis au sein du MTMD. L'objectif était d'approfondir l'analyse de chaque projet, en examinant concrètement l'application du BIM et en identifiant les avantages, les défis et les opportunités associés. Cependant, en raison du décalage temporel entre les délais de la recherche et ceux de la réalisation des projets pilotes, la stratégie a été ajustée pour inclure également des projets déjà identifiés comme ayant utilisé le BIM ou des technologies numériques associées.

Ainsi, la problématique finale de la recherche vise à comprendre comment les organismes gouvernementaux, en charge des infrastructures de transport, mettent en œuvre le BIM pour assurer une gestion efficace de l'ensemble de leurs projets.

2.1.2.2 Objectifs spécifiques

La question de recherche formulée est : « Comment les organismes de transport entreprennent-ils la mise en œuvre du BIM dans la gestion et la réalisation des projets de transport? »

Cette recherche vise alors à analyser de manière approfondie la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures de transport, en se penchant sur les enjeux et défis associés à cette

mise en œuvre, le potentiel qu'offre le BIM, et les actions à implémenter pour assurer une démarche efficace. Les objectifs spécifiques de cette recherche sont donc les suivants :

- Étudier les pratiques actuelles en matière de BIM dans les projets d'infrastructures de transport;
- Identifier les enjeux, les défis, les attentes et besoins du MTMD, liés à la mise en œuvre du BIM;
- Dégager des actions et stratégies à mettre en œuvre pour intégrer le BIM sur l'ensemble du cycle de vie des projets d'infrastructures de transport.

2.1.3 Conception de la recherche

2.1.3.1 Méthodologie choisie : Étude de cas

La méthodologie de recherche préconisée pour répondre à la question de recherche repose sur l'utilisation d'une étude de cas exploratoire. La sélection de cette méthode qualitative découle des principes énoncés par Yin, (2003), qui souligne que l'étude de cas est particulièrement propice à l'enrichissement des connaissances sur divers phénomènes, y compris ceux de nature organisationnelle. Cette approche permet de capturer de manière holistique et significative les aspects réels des événements, tels que les processus organisationnels et managériaux (Yin, 2003, pp. 1-2).

L'orientation exploratoire de la recherche, préconisée dans des cas pareils par des auteurs tels que Fellows & Liu, (2003) et Yin, (2003), est justifiée par le caractère peu exploré du phénomène spécifique étudié, à savoir la transition numérique des organismes de transport. Dans cette démarche, l'étude de cas sert de cadre idéal, car elle offre une compréhension approfondie d'un sujet pour lequel la base de connaissances est limitée, voire inexistante.

La nature de la question de recherche, formulée en termes de "comment", associée au manque de contrôle sur les événements comportementaux liés à la transition numérique, renforce la pertinence de l'étude de cas comme méthode privilégiée (Yin, 2003, pp. 5-8). L'exploration guidée par la théorie, comme suggéré par (Fellows & Liu, 2003, p. 103), se base sur les usages

BIM, les enjeux, les défis, et les avantages du BIM issus de la littérature, offrant ainsi une orientation claire pour l'analyse de la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures.

2.1.3.2 Définition du cas

Le « cas » défini pour la recherche est le MTMD, et l'unité d'analyse est constituée par les projets du MTMD, ayant utilisé le BIM ou des technologies numériques de façon générale. Ceci repose sur la perspective de Yin, (2018), qui suggère qu'une étude de cas unique peut intégrer des unités d'analyse à différents niveaux. Dans ce contexte, le cas unique (premier niveau) est représenté par le MTMD, tandis que l'attention est également dirigée vers les projets individuels du MTMD (deuxième niveau) qui ont implémenté le BIM ou d'autres technologies numériques.

Le Ministère, pris comme l'unité principale de cas, offre une perspective approfondie et contextuelle, permettant d'explorer de manière détaillée les aspects liés à l'implantation du BIM par les organismes de transport, ce qui a été peu considéré par la recherche jusqu'ici. Il s'agit d'un cas révélateur (Yin, 2018). En choisissant les projets comme unité d'analyse, l'étude vise à obtenir une vision réaliste de la mise en œuvre du BIM dans les projets du Ministère, tout en mettant en lumière les enjeux et défis associés à cette démarche.

2.1.3.3 Collecte et analyse de données

Bien qu'étant de nature qualitative, la recherche par étude de cas peut impliquer à la fois des méthodes de collecte de données qualitatives et quantitatives (Priya, 2021). L'approche de triangulation des sources de données (Priya, 2021 ; Yin, 2018), qui combine à la fois les méthodes qualitatives et quantitatives a été adoptée dans cette recherche, de sorte à exploiter plusieurs sources de données, notamment la documentation et les des entrevues, et ainsi augmenter la crédibilité des résultats trouvés.

La stratégie globale d'analyse dans cette recherche concerne le développement des descriptions de cas, (Yin, 2003, p. 114). La description de cas vise à couvrir le processus étudié dans son ensemble, à savoir la transition numérique des organismes de transport, spécifiquement dans

les projets. Pour cela, des éléments spécifiques liés à ce processus, tels que les usages BIM courants dans les projets, les enjeux et bénéfices de la mise en œuvre du BIM, les actions mises en œuvre par les autres organismes gouvernementaux, sont minutieusement étudiés, et analysés dans le contexte du MTMD.

2.2 Activités de la recherche

Les deux principales activités menées afin d'atteindre les objectifs de la recherche sont illustrées à la Figure 2.1.

- **Activité 1** : État de l'art sur l'utilisation du BIM dans les projets d'infrastructures de transport à travers le monde
 - Recensement de projets d'infrastructures de transport ayant utilisé le BIM à travers le monde
 - Identification des usages BIM courants pour les infrastructures de transports
 - Identification des avantages et des défis liés à la mise en œuvre du BIM
- **Activité 2** : Étude de l'adoption du BIM dans les projets du MTMD
 - Dressage de l'état des pratiques et connaissances actuelles en termes d'utilisation de technologies numériques
 - Identification des enjeux et défis, avantages, opportunités, attentes et besoins liés à l'implantation du BIM dans les projets
 - Formulation d'actions spécifiques pour la mise en œuvre du BIM dans les projets;

Il est à noter qu'une autre activité, menée en équipe, dans le cadre de l'axe 1 du projet de recherche entre le MTMD et le GRIDD, a consisté en l'analyse des feuilles de route gouvernementales pour la mise en œuvre du BIM. Cette analyse avait pour objectif d'élargir le champ d'action de la feuille de route gouvernementale BIM du Québec en tenant compte de toutes les actions possibles, notamment dans le domaine des infrastructures de transport. Cette activité a conduit à la création d'une nouvelle catégorie d'actions pour la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures de transport. Les résultats de cette activité, n'étant pas attribuables à ma contribution propre, ne seront pas présentés dans le présent mémoire. Par ailleurs, l'ensemble des actions extraites est présenté en Annexe I, car les actions formulées

pour les projets du MTMD sont comparées aux actions retrouvées dans ces différentes feuilles de route.

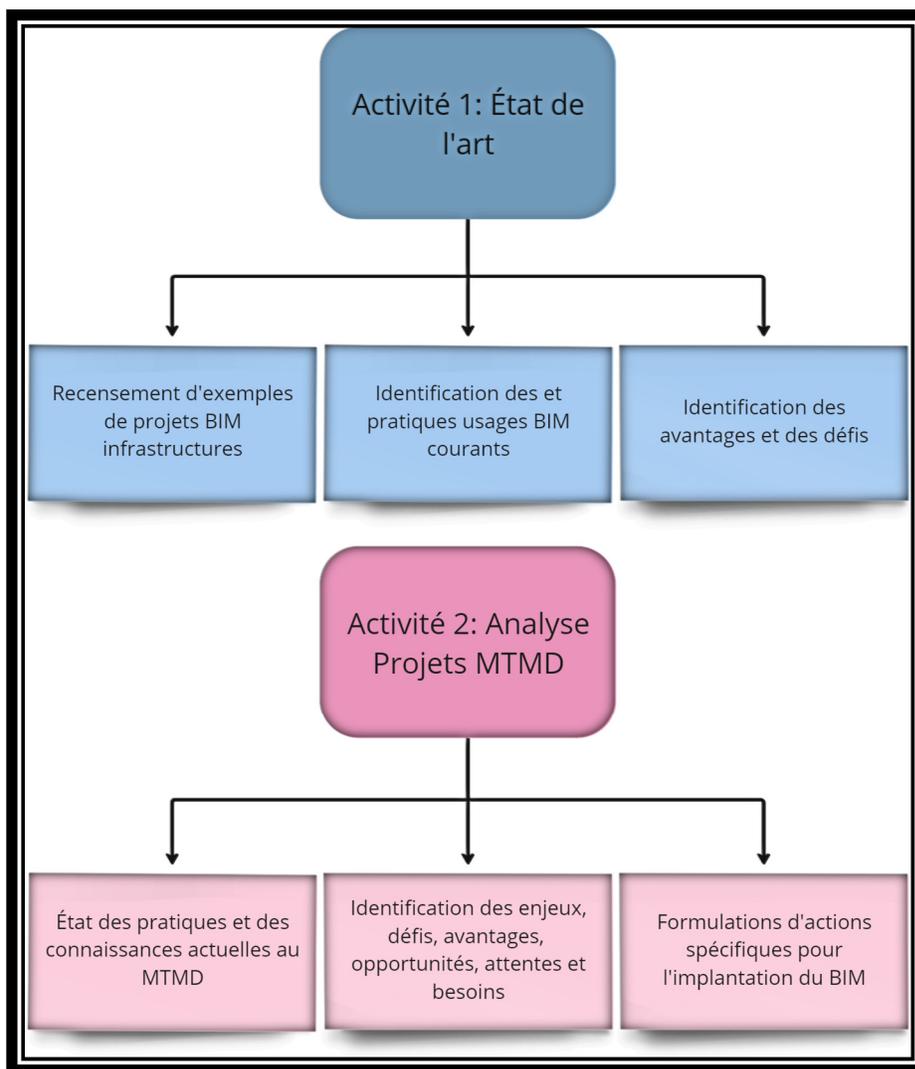


Figure 2.1 Activités de la recherche

2.2.1 Activité 1 : État de l'art

Au cours de cette étape de la recherche, l'accent a été mis sur l'examen des initiatives documentées liées à l'application du BIM dans des projets d'infrastructures de transport. Initialement centrée sur les projets ferroviaires, en accord avec l'orientation préliminaire de

l'étude, cette approche a été élargie pour englober l'ensemble des infrastructures de transport, assurant ainsi une cohérence avec les données disponibles.

Pour mener à bien cette démarche, une méthodologie de revue intégrative de la littérature a été adoptée, favorisant l'exploitation de ressources provenant de publications scientifiques, de livres, et autres (Bandara, Furmueller, Gorbacheva, Miskon, & Beekhuyzen, 2015 ; Snyder, 2019). L'objectif était d'explorer en détail la littérature existante sur la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures de transport, en extrayant des thèmes qualitatifs tels que les usages du BIM, les enjeux et défis, ainsi que les avantages de sa mise en œuvre. Le processus suivi pour cette activité est illustré dans la Figure 2.2, conforme au modèle de revue de littérature proposé par (Bandara et al., 2015).

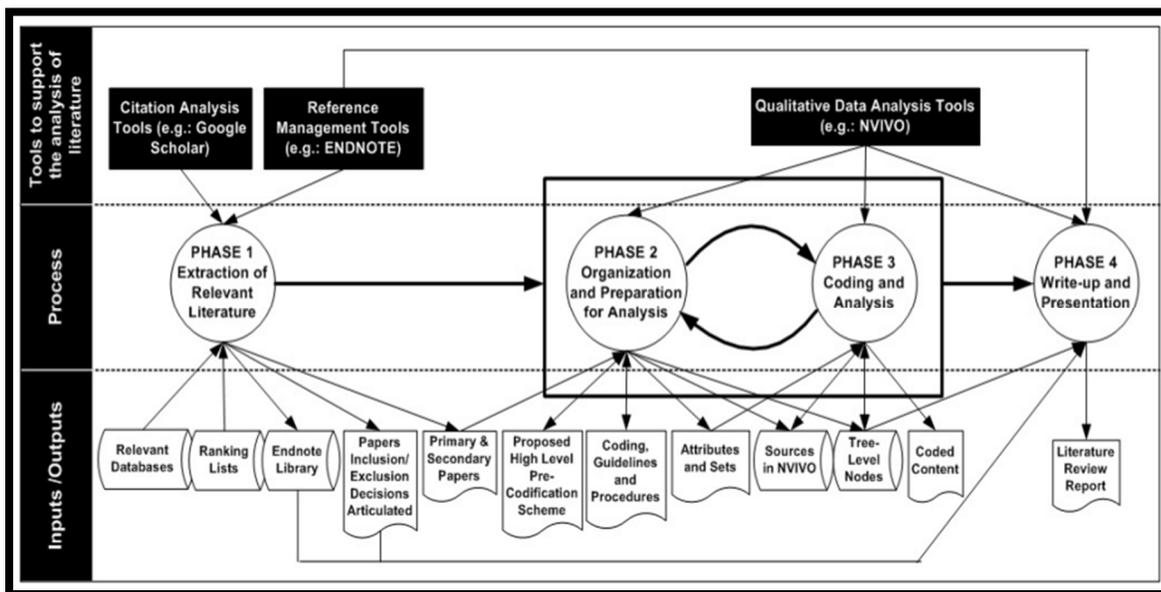


Figure 2.2 Processus suivi pour l'activité 1
Tirée de Bandara et al., (2015)

2.2.1.1 Méthode de Collecte des Données

La diversité des sources consultées a dicté une approche exhaustive, intégrant des articles issus de colloques, des publications scientifiques, des contributions électroniques dans des magazines spécialisés, des rapports techniques de projets, des ressources provenant de sites

web gouvernementaux, des ouvrages et des thèses. Ceci a conduit à l'identification et au recensement d'un nombre significatif de projets d'infrastructures de transport à l'échelle mondiale ayant fait appel au BIM.

La sélection des articles et des thèses s'est opérée au moyen des bases de données éminentes que sont Google Scholar, Scopus et ProQuest. L'utilisation de termes clés tels que "*BIM implementation*", "*Infrastructure Projects*", et "*BIM for Infrastructure*" a permis de cibler de manière précise les ressources pertinentes, garantissant ainsi une approche méthodologique rigoureuse dans la collecte des données.

2.2.1.2 Technique d'Analyse des Données

L'outil de bibliographie Zotero a été utilisé pour collecter les références nécessaires à l'étude. Celles-ci ont été exporté vers le logiciel NVIVO, couramment utilisé pour l'analyse de données qualitatives (Bandara et al., 2015). Au total, 32 éléments sélectionnés ont été analysés à l'aide du logiciel NVIVO, comme illustré dans la Figure 2.3.

Les documents ont fait l'objet d'une étude visant à mettre en évidence principalement les éléments relatifs aux codes suivants (voir Figure 2.4) :

- Avantages de l'utilisation du BIM pour les projets ferroviaires.
- Enjeux et défis de l'implantation du BIM dans les projets ferroviaires.
- Applications/usages du BIM dans les projets ferroviaires.

D'autres articles ont été analysés de manière qualitative au cours de la recherche, élargissant ainsi la portée de l'étude à l'ensemble des infrastructures de transport, principalement grâce à l'utilisation du logiciel Zotero.

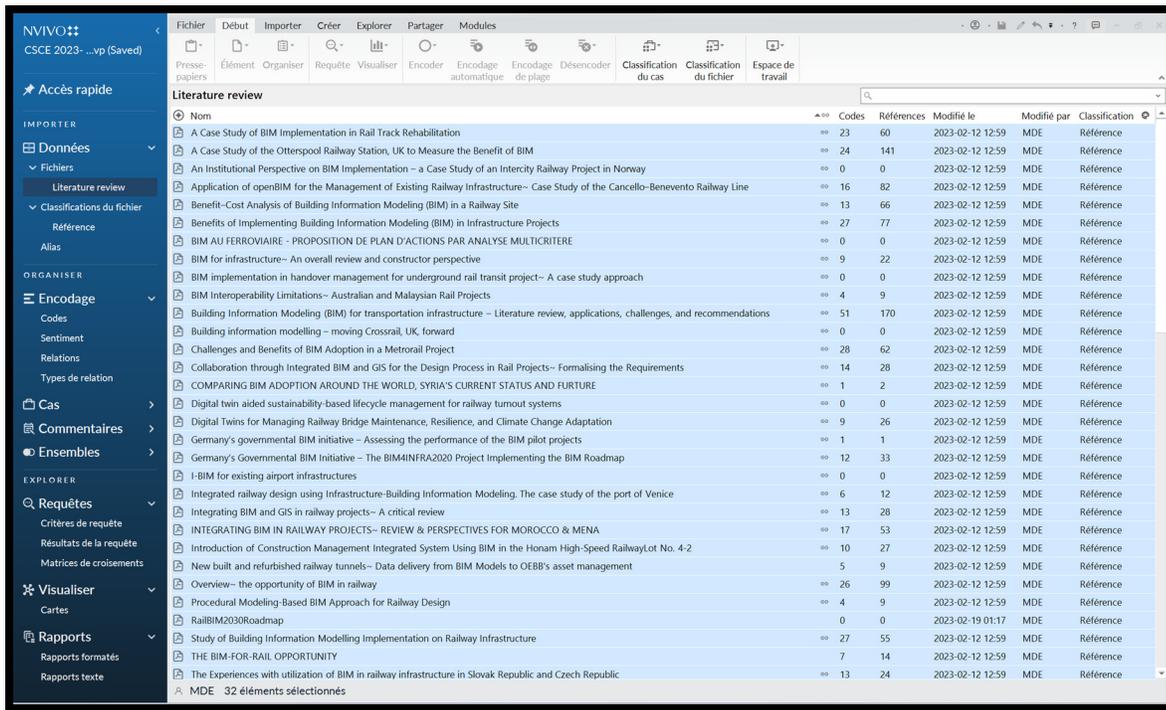


Figure 2.3 Sélection des documents analysés via le logiciel NVIVO



Figure 2.4 Codes créés sur le logiciel NVIVO

2.2.2 Activité 2 : Étude de l'utilisation du BIM dans les projets du MTMD

L'objectif fondamental de cette activité résidait dans la compréhension du contexte actuel des projets du MTMD. À cette fin, une enquête exhaustive des usages de technologies numériques et des pratiques liées au BIM dans les projets d'infrastructures a été entreprise. Cette démarche a également englobé l'identification des enjeux et des défis inhérents à l'implantation du BIM et à la des projets, ces derniers représentant des opportunités pour le déploiement du BIM. De

plus, les attentes et les besoins des acteurs impliqués dans la gestion et la réalisation des projets ont été consignés, visant à anticiper les actions nécessaires pour la mise en œuvre réussie du BIM dans ces projets.

2.2.2.1 Méthode de Collecte des Données

Dans le cadre de cette activité, deux catégories de sources d'évidence parmi les six définies par Yin (2003) ont été utilisées : la documentation et les entretiens semi-structurés. La documentation englobe les documents de projets tels que les appels d'offres, les devis et les pages web gouvernementales décrivant les projets. Concernant les entretiens semi-structurés, un protocole a été préalablement élaboré par l'équipe de projet, en conformité avec les recommandations de Miles & Huberman (1994). Ce protocole est disponible en Annexe II de ce document. Il est essentiel de souligner que les entretiens ont été planifiés en se basant sur des données préexistantes issues d'un sondage réalisé par l'équipe de projet, dans le but d'identifier des projets ayant eu recours au BIM ou à des technologies numériques de manière générale.

2.2.2.2 Identification des projets

Deux démarches simultanées ont été entreprises pour repérer et évaluer les projets mettant en œuvre le BIM. Tout d'abord, des réunions avec les responsables de projets ont permis de discuter des orientations liées à l'introduction du BIM sur cinq projets pilotes spécifiques, notamment le remplacement d'un portique, la reconstruction du pont de l'île-aux-Tourtes, la construction d'un hangar à l'aéroport de Québec, la reconstruction du Centre de service Foster, et la reconstruction du Pont Camille-Parenteau.

De manière complémentaire, un sondage anonyme a été diffusé auprès du personnel ministériel entre décembre 2022 et janvier 2023 pour recenser les projets où des éléments du BIM ont été mis en œuvre, obtenant plus de 1720 réponses. Le sondage cherchait à identifier si l'une ou plusieurs de ces pratiques telles que le développement d'une ou de plusieurs maquettes 3D, l'utilisation du relevé par balayage laser (Lidar), l'utilisation d'une ou de plusieurs maquettes 3D afin d'aider à la conception et coordination, l'utilisation d'une ou de plusieurs maquettes

3D afin d'aider à l'analyse et la simulation, l'utilisation d'une ou de plusieurs maquettes 3D pour produire des plans 2D, l'échange de données de projet selon des formats ouverts (ex : IFC, CityGML, gbXML); l'utilisation de plateforme(s) de collaboration permettant de centraliser les données de projet, ont été déployées sur les projets du ministère (É. Poirier et al., 2023a).

Parmi les répondants, 21% ont indiqué avoir utilisé des pratiques BIM sur 118 projets. Une sélection de 21 projets a finalement été soumise à des entretiens approfondis pour recueillir des informations détaillées sur les pratiques BIM, les défis, les avantages et les opportunités. Ces entretiens, menés entre décembre 2022 et novembre 2023, ont duré environ une heure chacun (É. Poirier et al., 2023a).

2.2.2.3 Déroulement des entretiens

Les entretiens ont été conduits via la plateforme Teams, se déroulant en deux phases distinctes : la première phase concernant les projets pilotes, et la seconde phase dédiée aux projets identifiés dans le cadre du sondage. Les entretiens liés aux projets pilotes (n°1 à 4, voir Tableau 2.1) ont eu lieu en décembre 2022 et ont été enregistrés. Les entretiens ultérieurs se sont déroulés au cours des mois de mai (1), août (4), septembre (2), octobre (8), et novembre (1) de l'année 2023, sans enregistrement, mais avec la prise de notes manuelles consignées sur un One Note partagé. Une étude des documents officiels et de la littérature a été réalisée avant la réalisation des entretiens; cela a permis d'avoir une idée générale sur les principaux avantages et défis liés à l'adoption du BIM, et sur les différents systèmes de technologies intervenant dans les projets. Cela a également aidé à maintenir la fluidité des conversations avec les personnes interrogées.

Chaque entretien a impliqué plusieurs parties prenantes, notamment des membres de l'équipe du projet objet de l'entretien, des membres de l'équipe d'implantation du BIM au sein du Ministère, ainsi que deux membres au moins de l'équipe de recherche du GRIDD. Du côté du Ministère, les participants sont répartis entre l'équipe d'implantation du BIM et l'équipe du projet, comprenant des membres de différentes sections telles que l'étude d'opportunité, la conception, la réalisation, ainsi que diverses fonctions comme ingénieur, technicien, arpenteur-

géomètre. Parmi les personnes interrogées figuraient des directeurs de département, des chargés d'activité et des consultants techniques.

Tableau 2.1 Liste des projets passés en entretien

N°	Projet	Date de l'entrevue	Durée
1	Structure P-13836 – Portique	05/12/2022	1 h 9 min 26 s
2	Aéroport de Québec – Hangar	06/12/2022	1 h 9 min 34 s
3	Pont de l'Île-aux-Tourtes	19/12/2022	57 min 26 s
4	Centre de service Foster	22/12/2022	56 min 59 s
5	Pont Camille-Parenteau	12/05/2022	1 h 3 min 47 s
6	Pont Gédéon-Ouimet – Reconstruction	08/08/2023	1h 10 min 40 s
7	Autoroute 15 – Aménagement des voies réservées et réfection des chaussées		
8	Prolongement de la route 138	11/08/2023	1h 7 min 1s
9	Autoroute 35 - Parachèvement Phase III	11/08/2023	1h 5 min 55 s
10	Autoroute 35 – Parachèvement Phase IV		
11	Tunnel L-H-Lafontaine – Réfection majeure	16/08/2023; 24/10/2023	1h 4 min 32s 1h 4 min 12s
12	Route 247 – Conservation de chaussée	21/09/2023	1h 3 min 19s
13	Route Guérin – Stabilisation de talus	28/09/2023	59 min
14	Route 267 – Éclairage	16/10/2023	1h 3min 57s
15	Route 199 – Protection d'un ouvrage contre l'érosion	17/10/2023	1h 5min 26s
16	Tunnel Ville-Marie – Réfection majeure	17/10/2023	1h 3min 27s
17	Pont de Québec – Remplacement du Tablier	18/10/2023	1h 4min 2s
18	Autoroute 55 – Pavage	23/10/2023	1h 2min 37s
19	Route 153 – Stabilisation de talus	23/10/2023	1h 2min 40s
20	Route 155 – Étude d'opportunité	27/10/2023	1h 9s
21	Structure P-07416 (pont)	02/11/2023	58min 47s

2.2.2.4 Technique d'Analyse des Données

Comme évoqué précédemment, l'approche d'étude de cas intégrée a été choisie, mettant l'accent sur les projets gérés par le MTMD qui impliquent l'utilisation de technologies numériques associées au BIM. Selon Yin (2003, p. 45), cette approche permet une exploration interprétative approfondie d'un cas unique. Ainsi, chaque projet a été examiné de manière

individuelle, suivi d'une analyse croisée, conforme aux principes de l'analyse inter-cas de Yin (2003, p. 133).

Les données issues des entretiens ont été soumises à une analyse de contenu, facilitant l'interprétation de données relativement non structurées en tenant compte de leur signification, de leurs qualités symboliques et de leurs rôles communicatifs (Krippendorff, 2004, p. 45). Ces données ont été systématiquement classées selon les catégories suivantes : enjeux et défis, utilisation du BIM, opportunités liées au BIM, avantages du BIM, attentes et besoins associés à la mise en œuvre. Un tableau Excel a été créé pour effectuer une analyse préliminaire des données collectées. La version finale de ce tableau, en cours de validation par le MTMD, est présentée en Annexe III du présent mémoire. Cette classification via Excel a été suivie:

- D'une analyse individuelle des notes relatives à chaque projet, visant à identifier les éléments correspondant à chacune des catégories définies;
- D'une analyse croisée des différents projets, permettant d'identifier les enjeux et défis, les usages BIM, les opportunités, les avantages, ainsi que les attentes et besoins relatifs à la mise en œuvre du BIM, en les mettant en perspective avec les éléments identifiés dans la littérature.

Après avoir synthétisé les données issues des projets, à savoir les enjeux/défis, avantages, opportunités, attentes et besoins, ces éléments ont été catégorisés, puis traduits en actions pour la mise en œuvre du BIM dans les projets. Cette étape de formulation d'actions spécifiques aux projets a été calquée sur le modèle de l'axe 1 du projet de recherche global, ou des actions ont été traduites à partir des données (enjeux, attentes et besoins) issues des ateliers avec les comités d'expertise. Cette démarche a été entreprise afin d'harmoniser, dans la mesure du possible, les actions formulées pour le MTMD.

2.3 Relation entre les activités et les objectifs de la recherche

Chaque activité menée au cours de la recherche concourt à la réalisation des objectifs énoncés. Les différents liens entre ces activités et les objectifs sont détaillés à la Figure 2.5.

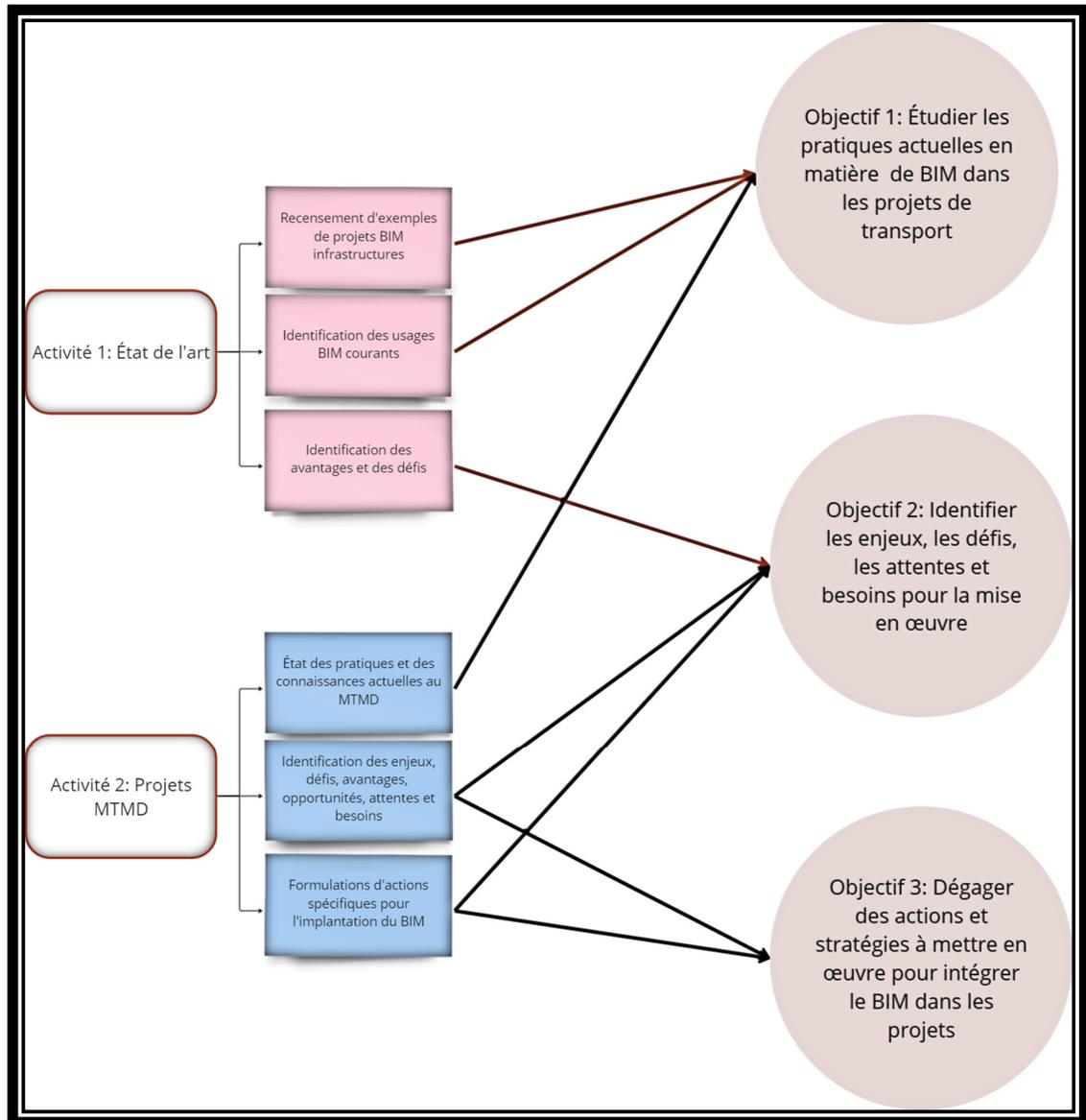


Figure 2.5 Relation entre les activités et les objectifs de la recherche

2.4 Chronologie de la recherche

La progression de la recherche a suivi une séquence temporelle principalement dictée par les étapes de travail collaboratif avec le MTMD. Dès le commencement, l'activité 1 a été initiée pour recenser les articles pertinents dans le cadre de l'unité d'enseignement MTR 871 : Lectures dirigées, aboutissant à un rapport qui a servi de base solide pour la revue de la

littérature. Cette dernière s'est déroulée de manière continue tout au long de la recherche. Quant à l'activité 3, elle a perduré tout au long de la recherche. Des présentations régulières ont été effectuées pour partager l'avancement des travaux au fil du temps. La Figure 2.6 résume cette séquence temporelle.

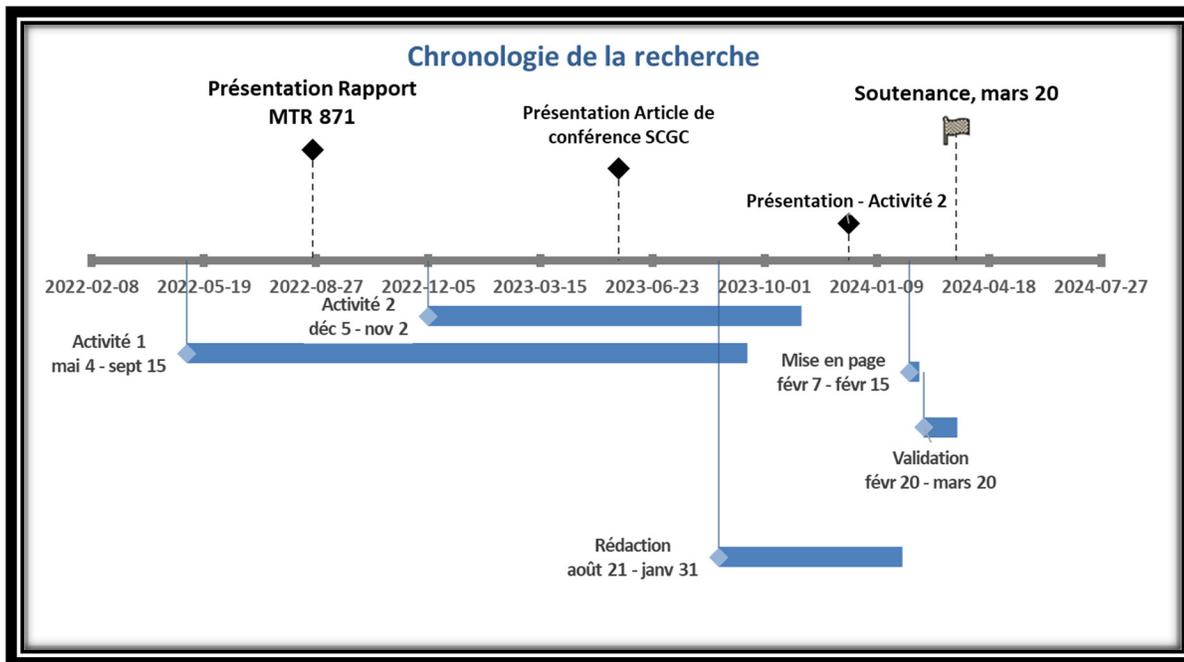


Figure 2.6 Chronogramme des activités de la recherche

2.5 Validité et fiabilité

2.5.1 Validité

La validité de la recherche par étude de cas revêt 3 volets, à savoir la validité de construction, la validité interne, et la validité externe (Yin, 2018). Selon Yin, (2018), le test validité interne est difficilement réalisable dans le cas d'une recherche exploratoire telle que celle-ci.

La validité de construction dans cette étude est garantie par la triangulation des sources de données, impliquant une combinaison de données issues de la littérature, de la documentation et des entretiens. Pour renforcer cette validité, le rapport d'étude de cas (notamment des

entrevues) a été soumis à une révision et à une validation, d'abord par les membres de l'équipe de recherche, puis par le MTMD. Cette approche, conforme aux tactiques recommandées par Yin (2018), vise à assurer la solidité de la construction conceptuelle et la crédibilité des résultats, tout en s'alignant sur les standards reconnus en matière de recherche qualitative par étude de cas.

La **validité externe** est limitée car il s'agit du contexte particulier des projets du MTMD. Les résultats obtenus sont donc spécifiques au MTMD, et sont difficilement généralisables à d'autres organismes de transport.

2.5.2 Fiabilité

En ce qui concerne la **fiabilité**, des protocoles rigoureux ont été instaurés pour assurer la cohérence des méthodes de collecte de données et d'analyse (Yin, 2018). Pendant les entretiens, au moins deux chercheurs ont pris des notes, garantissant ainsi la traçabilité et la reproductibilité du processus. Pour l'analyse des feuilles de route lors de l'activité 2, la participation de plusieurs codeurs agissant de manière indépendante (à l'aveugle) témoigne de la transparence du protocole établi (Dany, 2016). De plus, l'ensemble des protocoles mis en place dans le cadre de la collecte de données a été minutieusement documenté, de façon à rendre le processus tout à fait répliquable (Yin, 2018).

CHAPITRE 3

UTILISATION DU BIM DANS LES PROJETS DU MTMD

Ce chapitre explore l'utilisation du BIM dans les projets du MTMD, en se basant sur une analyse approfondie des projets sélectionnés. Le niveau d'adoption du BIM est évalué, mettant en lumière les tendances et les pratiques prédominantes. Les enjeux et défis spécifiques au Ministère, tels que les disparités de maturité et la résistance au changement, sont examinés, tout comme les opportunités substantielles que le BIM offre. Les avantages potentiels de la mise en œuvre du BIM dans ces projets découlant de ces opportunités sont détaillés, et les attentes et besoins liés à la mise en œuvre du BIM sont également abordés. Ce chapitre offre un aperçu approfondi de la réalité actuelle et des perspectives du BIM au sein du Ministère.

3.1 Présentation du MTMD

3.1.1 Rôle et objectifs

Le MTMD est une institution fondamentale ayant pour mission de contribuer au développement et à la sécurité du Québec par la gestion des réseaux de transport. Fondé le 12 septembre 1969, le MTMD joue un rôle crucial dans la planification, la conception, la construction et la gestion des infrastructures de transport, comprenant routes, ponts, tunnels, voies ferrées et autres éléments clés du réseau de mobilité québécois.

Doté d'une structure organisationnelle complexe, le MTMD est composé de dix sous-ministériats, chacun dédié à des aspects spécifiques de la gestion des transports. Fort de près de 8000 employés, le Ministère opère dans un contexte diversifié, allant de la planification des projets à l'exploitation des actifs bâtis, en promouvant l'innovation, dans une perspective intégrée de mobilité.

Plus récemment, le Ministère s'est engagé dans une démarche de transition numérique, catalysée par la feuille de route gouvernementale pour l'implantation du Building Information Modeling (BIM) au Québec, publiée en août 2021. Cette initiative ambitieuse vise à

moderniser et optimiser les pratiques du MTMD en intégrant les technologies numériques, en particulier le BIM, dans la planification, la conception et la réalisation des projets d'infrastructures de transport. Cette démarche, bien que porteuse de promesses, nécessite une stratégie claire, une planification minutieuse et une adhésion complète de toutes les parties prenantes pour maximiser son impact dans un organisme de cette envergure.

Dans le cadre de ses responsabilités, le Ministère supervise un vaste éventail d'infrastructures stratégiques qui façonnent le paysage de la mobilité québécoise. Cela englobe des réseaux routiers cruciaux, des ponts stratégiques, des tunnels essentiels, ainsi que des voies ferrées majeures.

3.1.2 Types d'infrastructures

3.1.2.1 Infrastructures routières

Le MTMD gère un réseau routier étendu, totalisant environ 31 000 km d'autoroutes, de routes nationales, régionales, et collectrices, accompagnées de près de 11 000 structures essentielles situées tant sur le réseau du Ministère que sur le réseau routier municipal. Les responsabilités du Ministère s'étendent également à la gestion de 4261 ponts sur le réseau municipal, représentant une surface considérable de près de 750 000 m², soit environ 13% de la superficie totale sous sa responsabilité (Ministère des Transports et de la Mobilité durable, 2023a).

La valeur à neuf des infrastructures routières sous la tutelle du MTMD atteint plus de 30 milliards de dollars (Ministère des Transports et de la Mobilité durable, 2023a). Ces ouvrages comprennent divers types de structures, tels que les ponts d'égagement, les ponts enjambant des cours d'eau, les tunnels, les stations de pompage, les murs de soutènement, et les ponceaux ayant une ouverture supérieure à 4,5 mètres. Actuellement, le réseau géré par le Ministère compte 5652 ouvrages d'art d'une valeur dépassant les 26 milliards de dollars (Ministère des Transports et de la Mobilité durable, 2023e). La conservation de ces infrastructures, dont la majorité a été construite entre 1960 et 1980, nécessite des travaux d'entretien et de réparation, soulignant la pertinence d'une démarche visant à optimiser les processus, notamment par l'intégration du BIM.

Parallèlement, les projets routiers, qu'ils se déclinent en projets majeurs ou de plus modeste envergure, sont soumis à des normes strictes, avec des investissements dépassant les 100 millions de dollars pour les projets majeurs. On distingue ainsi les grands projets, caractérisés par un coût supérieur à 5 millions et inférieur à 100 millions de dollars, des projets majeurs, dont le budget dépasse la barre des 100 millions. Ces chantiers, en plus d'avoir un impact significatif sur les plans économique, social, et environnemental des régions concernées, font l'objet d'une surveillance attentive de la part du Ministère, en étroite collaboration avec le Secrétariat du Conseil du trésor (Ministère des Transports et de la Mobilité durable, 2023f).

3.1.2.2 Infrastructures aéroportuaires

Le Ministère détient la propriété de 25 aéroports et de 7 héliports, principalement localisés dans des régions éloignées ou isolées. Ces installations aéroportuaires revêtent une importance capitale dans le transport de personnes et de marchandises, étant donné que l'avion constitue souvent le moyen de déplacement privilégié en raison de l'absence de liaisons routières ou des distances importantes à parcourir. Grâce aux aéroports gérés par le Ministère, les communautés éloignées ont accès aux services vitaux de santé et d'éducation, soulignant ainsi le rôle essentiel de ces infrastructures dans la connectivité et le bien-être des régions desservies (Ministère des Transports et de la Mobilité durable, 2023b).

3.1.2.3 Infrastructures ferroviaires

Le réseau ferroviaire québécois, intégré au vaste réseau nord-américain, s'étend sur plus de 6 278 km, desservant des zones urbaines, semi-urbaines et rurales. Le transport ferroviaire occupe une place centrale dans l'économie du Québec. Le Ministère possède deux chemins de fer, à savoir le chemin de fer de la Gaspésie (325 km) et le chemin de fer Québec Central (344 km), pour lesquels il assure l'entretien, la conservation, la réhabilitation et le développement des infrastructures (Ministère des Transports et de la Mobilité durable, 2023c).

À ces deux chemins de fer s'ajoutent des compagnies ferroviaires relevant de la compétence du gouvernement du Québec, totalisant plus de 1 701 km de voies ferrées. Cette catégorie inclut les chemins de fer d'intérêt local (CFIL), les chemins de fer d'entreprises, les chemins de fer exploités par des sociétés de transport en commun, ainsi que plus de 100 sites industriels non comptabilisés. Ces diverses entités contribuent de manière significative à la connectivité et à l'accessibilité régionales, renforçant l'importance du transport ferroviaire dans la mobilité des personnes et des biens à travers le Québec. Par ailleurs, le Ministère s'engage activement dans des projets de réhabilitation visant à assurer la performance optimale de ces voies ferrées, reflétant ainsi son implication dans le développement économique et social de la province (Ministère des Transports et de la Mobilité durable, 2023c).

3.1.2.4 Infrastructures portuaires

Le Ministère détient la propriété des ports de Gros-Cacouna, de Rimouski, de Matane et de Gaspé, qui jouent un rôle important dans le développement commercial et économique régional. Ces ports sont gérés et exploités par la Société portuaire du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie inc., à qui ce mandat a été octroyé par le Ministère. Cette démarche s'inscrit dans une perspective de valorisation et de dynamisation des activités portuaires pour soutenir le potentiel économique des régions concernées (Ministère des Transports et de la Mobilité durable, 2023d).

3.2 Résultats des entretiens projets

Dans le cadre de cette étude, des entretiens ont été menés, afin d'explorer la mise en œuvre du BIM dans les différents projets relevant de la compétence du MTMD. Les entretiens ont été conduits avec des professionnels clés impliqués dans la planification, la conception, la construction, et la gestion des infrastructures de transport. Les entretiens ont porté sur une variété de projets, tel que présenté à la Figure 3.1, couvrant différents types d'infrastructures. Parmi les principales catégories examinées, on retrouve 11 projets de routes, 6 projets de ponts routiers, 2 projets de tunnels routiers, 1 projet de bâtiment, et 1 infrastructure aéroportuaire. Cette diversité d'infrastructures a permis d'obtenir une vision holistique de la manière dont le BIM est mis en œuvre, et des perspectives qu'il peut offrir, dans des contextes variés.

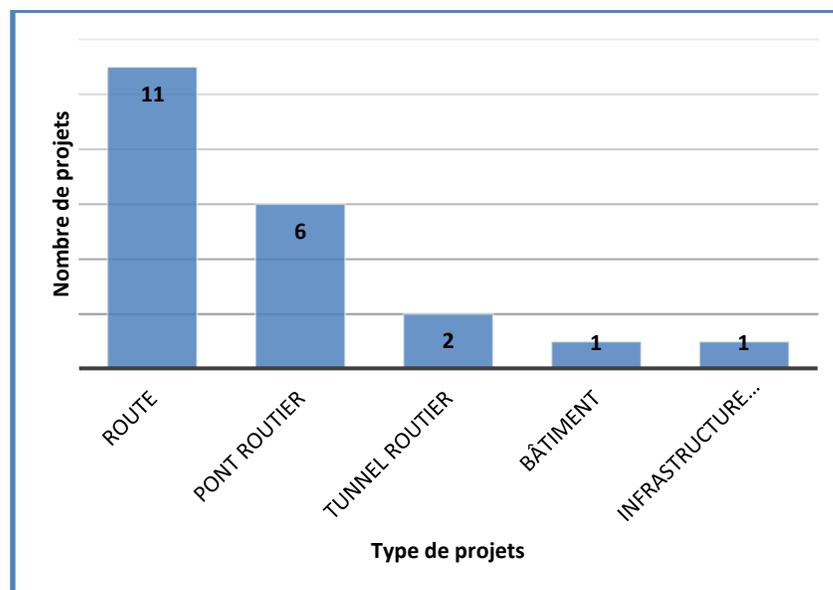


Figure 3.1 Répartition des projets vus en entretien

3.3 Description et analyse globale des projets répertoriés

20 entrevues ont été passées pour les 21 projets répertoriés, et l'analyse détaillée de chacune de ces entrevues est disponible en Annexe IV du présent mémoire.

3.3.1 Routes et Autoroutes

3.3.1.1 Autoroute 15 – Aménagement de voies réservées

Le projet d'aménagement de voies réservées sur l'autoroute 15 vise la réfection de la chaussée de l'autoroute 15, entre Laval et Boisbriand, et l'installation de voies réservées à Laval et dans la couronne nord, avec pour objectif d'améliorer la desserte en transport collectif. Actuellement en phase de préparation des plans et devis préliminaires et définitifs, ce projet, classé parmi les projets majeurs, c'est-à-dire avec un budget total dépassant les 100 millions de dollars canadiens, a prévu le début des travaux en 2024 pour le lot 1.

La conception du projet a été confiée à un mandataire externe, un groupement de trois firmes, qui intègre le BIM dans ses processus. Bien que le modèle 3D soit créé et géré par le mandataire, son utilisation par les équipes du Ministère est limitée à des fins de visualisation et de communication, en raison de l'absence d'une exigence BIM préalable émanant du donneur d'ouvrage. Les livrables fournis par le mandataire sont en format PDF ou en 2D pour les plans.

L'entrevue, réalisée en août 2023, a mis en lumière plusieurs défis liés au projet. La gestion et le suivi des commentaires, principalement effectués sur des plans 2D transmis par courriel, entraînent des délais importants et des allers-retours avec le mandataire pour parvenir à un consensus. Les problèmes de communication claire entre les parties prenantes, en particulier entre le mandataire et le maître d'ouvrage, sont également relevés, et cette absence de communication claire est identifiée comme une source potentielle d'erreurs de conception. La gestion de l'information générée, classée selon les méthodes conventionnelles du MTMD, présente des risques de perte d'information, de confusion pendant la gestion documentaire, et de création de doublons de documents. Ces défis sont intrinsèquement liés au processus global de gestion du projet, soulignant le manque de communication et de collaboration effective entre le mandataire et le MTMD.

Tous ces enjeux pourraient être surmontés par l'adoption d'une approche BIM pour la gestion du projet, où l'ensemble des parties prenantes collaborerait autour d'une maquette numérique. Une opportunité significative pour le BIM dans ce projet résiderait dans son intégration à la phase de réalisation, en commençant par le lot 2, permettant ainsi l'exploitation complète de la maquette numérique créée en conception. Une comparaison pertinente pourrait également être établie entre le lot 1, sans utilisation du BIM, et les lots suivants, mettant en œuvre cette démarche.

3.3.1.2 Route 138 – Prolongement

Le projet de prolongement de la route 138, situé entre Kégaska et Vieux-Fort dans la région de la Côte-Nord, (voir Figure 3.2) a pour objectif de favoriser la connexion entre les communautés de la Basse-Côte-Nord et le reste du Québec. Ce projet d'envergure est divisé en quatre tronçons, en cours de réalisation pour deux d'entre eux, tandis que les deux autres font l'objet d'études d'opportunité. Le linéaire total des tronçons en cours de réalisation s'étend sur environ 90 km, avec un budget global estimé à 695,5 millions de dollars canadiens.

L'application de la technologie Lidar a été remarquée dans l'acquisition des conditions existantes sur les tronçons de La Romaine à Vieux-Fort. Les ortho-photos issues de ces relevés ainsi que le modèle numérique de terrain ont été intégrés dans la phase de conception par le mandataire, tandis que l'étude géotechnique a été réalisée en interne.

L'entrevue consacrée à ce projet en août 2023 a identifié plusieurs enjeux et défis inhérents à sa réalisation. Ces défis comprennent la nécessité d'assurer une consultation et une compréhension efficaces du projet par les communautés locales, malgré le défi linguistique. L'éloignement et l'enclavement du site de construction ont rendu complexe la réalisation des études géotechniques, tandis que les modifications de conception, découlant des surprises sur le terrain, ont impacté le budget et l'échéancier. L'analyse des risques constitue également un défi majeur, exigeant une prise en compte minutieuse de tous les paramètres pour évaluer les risques d'éboulement ou de glissement de terrain. Enfin, la gestion et l'exploitation de l'infrastructure routière ont nécessité l'implication des autorités locales dans la planification du maintien de l'infrastructure.

Ces défis offrent une opportunité propice au déploiement du BIM. L'utilisation de technologies d'acquisition numérique pour le relevé de l'existant, le suivi des travaux et les inspections pourrait constituer une solution efficace aux problèmes d'enclavement et d'éloignement du site. L'introduction d'une maquette numérique 3D intégrée permettrait d'anticiper les risques en construction et de réduire les modifications de conception. Par ailleurs, des rendus visuels tels que des images et des vidéos pourraient faciliter la compréhension du projet par les

populations locales. Ainsi, l'intégration du BIM représente une opportunité prometteuse pour l'amélioration de la gestion des projets d'infrastructures.

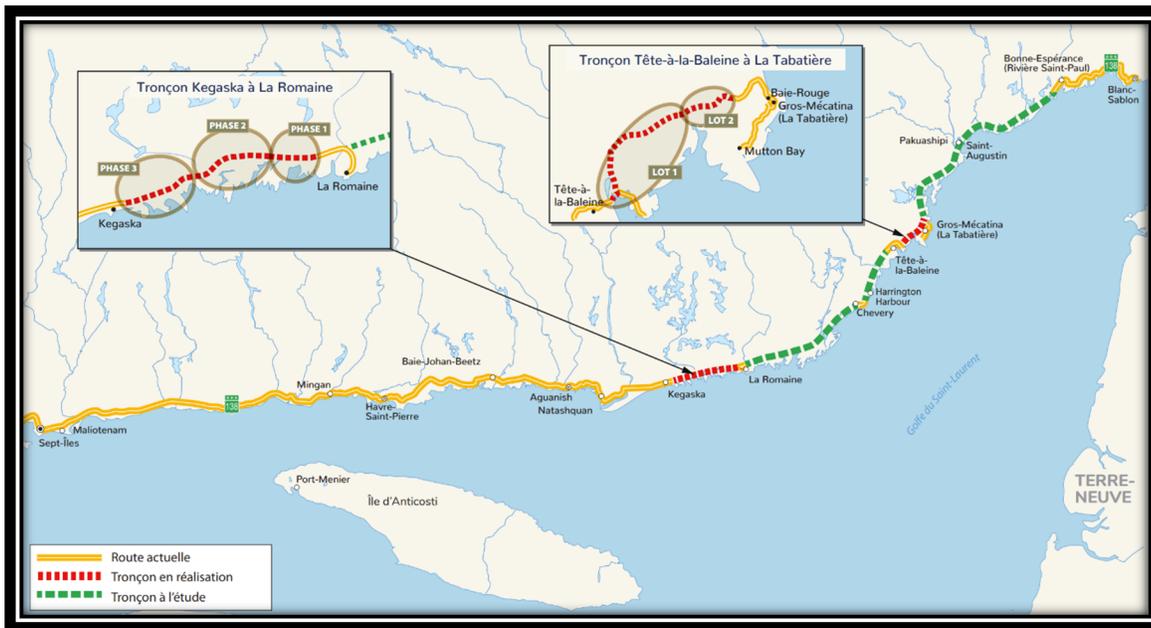


Figure 3.2 Carte du projet de la route 138

3.3.1.3 Autoroute 35 – Parachèvement (Phases III et IV)

Le parachèvement de l'autoroute 35 englobe la réalisation de la phase III, actuellement en cours entre Saint-Sébastien et Saint-Armand (route 133), ainsi que la préparation de la phase IV, le tronçon final de 4,5 km entre Saint-Armand et la frontière américaine. La phase III, débutée en août 2020, couvre 8,9 km de route avec un coût total de 222,9 millions de dollars canadiens. Le processus de conception est entravé par la difficulté de collaboration avec le mandataire en raison de l'accès en lecture seule à l'environnement de données commun. Les échanges traditionnels et le système fragmenté de gestion de l'information interne augmentent le risque de perte de données et rallongent les délais de ressaisie.

Les défis liés au projet incluent des contraintes environnementales, notamment la nécessité de produire un plan de compensation environnementale simultanément, la présence d'espèces

menacées et d'agriculteurs, et une forte implication de la population locale; des difficultés de visualisation du projet par le Ministère, dues à l'exigence de livrables 2D malgré l'existence d'une maquette 3D, et des différences de niveau technologique entre le Ministère et les mandataires sont également à noter. Les délais dans les validations, le transfert à l'exploitation entravé par l'obtention tardive des plans de conception finaux et la transmission de plans 2D au lieu de maquettes 3D, ainsi que la gestion documentaire fragmentée s'ajoutent également aux défis du projet.

L'implantation du BIM pourrait résoudre ces défis en améliorant la communication avec les autorités et les populations locales grâce à la production de rendus visuels à partir d'une maquette numérique. La collaboration avec le mandataire serait facilitée par une plateforme collaborative. Pour l'enjeu de protection de la faune et de la flore, le BIM pourrait permettre des analyses environnementales avancées. La centralisation de l'information de projet via une maquette BIM pourrait remédier au système d'informations fragmenté, et la mise en place de processus intégrés pourrait surmonter le décalage technologique entre l'industrie et le Ministère.

3.3.1.4 Autoroute 55 – Pavage

Ce projet, d'une valeur de 5 millions de dollars canadiens, vise le revêtement de l'autoroute 55 sur une distance de 24 km dans la région du Centre-du-Québec, ainsi que la construction d'un ponceau de 200 mètres. Pour le pavage, la conception a été réalisée en interne, tandis que le ponceau a fait l'objet d'une conception externe. L'équipe interne d'arpentage a élaboré un modèle numérique de terrain pour le ponceau. Bien que l'outil de collaboration Teams ait été employé pour les échanges avec le mandataire externe, la communication sur le projet reste problématique.

La gestion de l'information de projet émerge comme un défi majeur, notamment avec la présentation des livrables sous format PDF et en 2D pour les plans, accompagnée de l'utilisation simultanée de plusieurs systèmes de classification des données. Cette situation complique l'accès à l'information recherchée. Cependant, l'outil SIGO, dédié à la planification

de la gestion des actifs, est utilisé pour regrouper des informations géoréférencées, facilitant la localisation des actifs et l'évaluation de leur état.

3.3.1.5 Route Gérin – Stabilisation de talus

Ce projet, réalisé de 2013 à 2016, a été entrepris pour résoudre les problèmes récurrents de glissements de terrain le long de la route Gérin, située en Mauricie. L'objectif principal était la stabilisation des talus pour garantir la sécurité de la route. Bien que ce projet ait été considéré d'envergure mineure, avec un coût largement inférieur à 5 millions, la stabilisation a été effectuée sur une distance d'environ 100 à 150 mètres.

Le projet a été confronté à des défis environnementaux et techniques, notamment en raison de la variation constante du terrain pendant la phase de conception et de la mauvaise qualité du sol. L'obtention des autorisations environnementales s'est avérée être un défi majeur au cours du projet. Malheureusement, des informations détaillées sur l'utilisation de technologies numériques telles que les relevés Lidar et la modélisation 3D dans ce projet n'ont pas pu être obtenues.

La personne interviewée, occupant le poste de Directrice des projets, a soulevé des enjeux et des défis qui sont pertinents pour d'autres projets. Elle a souligné le risque élevé de perte de données tout au long du projet, notamment en raison du passage d'une maquette 3D en début de projet à des plans 2D en fin de projet. Des relevés de terrain plus fiables, facilités par l'utilisation de technologies numériques d'acquisition associées au processus BIM, pourraient contribuer à éviter les allers-retours sur le terrain, optimisant ainsi les coûts et les délais.

Il est apparu au cours de l'entretien que l'implantation du BIM peut être entravée par la résistance au changement au sein des équipes, en particulier dans les Directions territoriales, qui ne perçoivent pas toujours la valeur ajoutée du BIM. Il existe ainsi un besoin de sensibilisation et de communication pour démontrer la valeur ajoutée du BIM dans les projets. De plus, une attente a émergé quant à la simplification de la transition vers le BIM, évitant ainsi d'alourdir les processus et de décourager les équipes.

3.3.1.6 Route 153 – Stabilisation de talus-

La zone concernée par le projet se révèle particulièrement vulnérable aux glissements de terrain, imposant ainsi la mise en place de mesures cruciales de stabilisation. Cependant, la proximité d'un cours d'eau complexifie cette entreprise. Plusieurs options sont minutieusement examinées, dont le déplacement de la route pour faciliter les opérations de stabilisation ou éventuellement la relocalisation de la route en amont de la montagne, nécessitant une évaluation approfondie pour déterminer la meilleure solution. L'origine du projet découle du besoin pressant de stabiliser le talus afin de réduire les risques de glissements, envisageant également la possibilité de construire une nouvelle route. Au moment de l'entretien (23/10/2023), une étude hydraulique est en attente, et les données Lidar ont été récemment reçues, représentant des éléments clés en tant qu'intrants pour la phase de conception. Le projet est en phase d'avant-projet préliminaire, et la conception a débuté en mars 2023. Il s'agit d'un projet majeur, avec un budget de plus de 5 millions de dollars.

En raison de la complexité et de l'envergure du projet, l'arpentage a été confié à une firme externe, compte tenu des ressources internes limitées. Cette démarche s'impose d'autant plus du fait que le projet nécessite l'expertise d'une firme capable de couvrir diverses disciplines. Les relevés topographiques, réalisés à l'aide de stations totales, de GPS et de Lidar aéroporté, ont permis la création d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) exhaustif. Pour les relevés bathymétriques, différentes méthodes, telles que le scanner multi-faisceau et le scanner mono-faisceau, ont été employées, reflétant l'approche minutieuse adoptée pour collecter des données précises et complètes dans ce projet d'envergure.

Ce projet se caractérise par d'importants enjeux environnementaux, accentués par la largeur significative du secteur. Les défis inhérents à ce contexte imposent la réalisation de relevés extrêmement précis, tant pour le calcul des déblais et remblais que pour les relevés bathymétriques et les analyses environnementales. Les obstacles au déploiement du BIM concernent principalement la performance des équipements du Ministère, qui ne facilitent pas le traitement des données issues des levés de terrain, et la collaboration entre les différentes

équipes du Ministère, notamment l'équipe hydraulique, l'équipe géotechnique et l'équipe d'arpentage.

Cet entretien a révélé une opportunité d'usage BIM pouvant être exploitée pour ce type de projet : l'interpolation géotechnique, utilisée dans les zones vastes pour obtenir des données fiables. Une autre opportunité qui émerge est l'intégration du modèle numérique de terrain dans le modèle 3D réalisé en conception. Les avantages perçus du BIM dans ce projet comprennent notamment l'amélioration de la communication visuelle du projet grâce aux maquettes 3D, l'utilisation de la maquette en tant que support pour la prise de décision, et la possibilité de mieux visualiser les solutions de conception.

3.3.1.7 Route 267 – Éclairage

L'initiative de ce projet découle de la nécessité d'améliorer l'éclairage d'une route à Inverness, dans la région administrative du Centre-du-Québec. Il s'agit d'un projet de petite envergure visant le remplacement de lampadaires, et il a été sélectionné car il met en œuvre des outils collaboratifs tout au long de sa réalisation. Les équipes collaborent notamment sur un OneNote partagé, facilitant le transfert d'informations entre le Ministère et l'Entrepreneur. De plus, l'outil de planification de la gestion des actifs, PlaniActif, est utilisé pour accéder aux informations liées à l'actif, telles que la géolocalisation et l'historique des travaux réalisés.

Le principal défi identifié dans ce projet est la gestion optimale de l'information générée tout au long du processus. L'instabilité de la main-d'œuvre, avec plusieurs changements de chargés d'activité, a entravé le déroulement du projet. Concernant l'information de projet, le défi consiste en l'absence de mise à jour automatisée des données de construction, susceptible de causer des pertes potentielles de données. Ainsi, la nécessité de développer un outil pour la gestion automatisée des projets a été soulignée. Bien que le BIM ou les technologies numériques n'aient pas été directement utilisés dans ce projet, des enjeux et défis liés à l'implantation du BIM ont été soulevés. Ces défis comprennent le manque de compréhension de la valeur ajoutée du BIM par les équipes de projet du Ministère et le manque d'équipements suffisamment performants, par exemple, pour traiter les données issues des relevés Lidar.

Les avantages potentiels d'une mise en œuvre du BIM qui émergent de cet entretien incluent la facilité de visualisation du projet, une conservation améliorée de l'information de projet sur le long terme et la possibilité d'éviter les pertes de données. Des opportunités pour la mise en œuvre du BIM dans d'autres projets pourraient consister à effectuer des relevés de terrain en 3D à l'aide de drones et éventuellement à créer un modèle numérique de terrain 3D à partir de ces relevés. La communication massive sur la nature du BIM dans les Directions Territoriales est identifiée comme une attente.

3.3.1.8 Route 199 – Protection des berges

Ce projet vise la recharge de sable le long des berges de la route 199, ainsi que la conception d'un site d'entreposage à proximité. En cours de réalisation depuis avril 2023 à Pointe-aux-Loups, aux Îles-de-la-Madeleine, les travaux devraient être achevés en 2024, avec un coût estimé d'environ 37 millions de dollars canadiens.

L'acquisition des conditions existantes a été réalisée à l'aide de la technologie LiDAR 3D mobile. Les données relevées ont été transférées au mandataire externe pour traitement, permettant ainsi la création du modèle numérique de terrain. La conception du site d'entreposage a été confiée à un mandataire externe, présentant un défi technique pour les équipes de conception. La modélisation en 3D des solutions proposées a contribué à améliorer la visibilité sur le projet.

Cependant, tout au long du projet, les échanges d'informations ont été entravés par un manque de collaboration entre les équipes du Ministère et les équipes de conception externes. De plus, le système de gestion documentaire interne GID ne permet pas de conserver toutes les informations liées au projet, notamment les informations géomatiques, ce qui serait souhaitable étant donné la nécessité de réaliser des projets similaires environ tous les deux ans.

3.3.1.9 Route 247 – Conservation de chaussées

Ce projet, intitulé « Planage avec système d’asservissement géoréférencé 3D et enrobé préparé et posé à chaud », a été mené à bien en 2012 à Stanstead, en Estrie. Il s’agissait d’une initiative pilote visant à mettre en œuvre la conception 3D pour le resurfaçage des chaussées, avec l’utilisation des technologies Lidar pour l’acquisition des données existantes. L’objectif principal de ce projet était de remettre en question les méthodes d’arpentage traditionnelles utilisées au sein du Ministère. Selon le responsable des opérations Lidar du projet, l’utilisation du Lidar mobile a permis de récupérer des points géodésiques qui auraient été négligés avec les méthodes traditionnelles. Depuis la réalisation de ce projet, les pratiques d’acquisition des conditions existantes ont considérablement évolué au Ministère, notamment avec la transformation des relevés numériques en modèles numériques de terrain.

L’un des principaux défis rencontrés lors de la mise en œuvre de ce projet a été de trouver une main-d’œuvre spécialisée en CDAO (conception ou dessin assisté(e) par ordinateur) adaptée aux travaux d’asphaltage. Un autre défi notable a été la nécessité d’utiliser un équipement de grande précision pour les relevés en raison d’un environnement hostile, afin de minimiser les risques d’erreurs pendant la réalisation. Le paradigme culturel a également été identifié comme un enjeu, représentant une résistance au déploiement du BIM pour ce type de projet, car les équipes en charge de la conservation des chaussées ont du mal à modifier les pratiques établies pour intégrer des modélisations en 3D.

L’option d’acquérir un géo radar pour le combiner avec le Lidar a été envisagée afin de surmonter les problèmes de précision et de détecter les éléments enfouis dans le cadre des travaux d’asphaltage.

3.3.1.10 Route 155 – Réfection de glissière de sécurité

L’objectif de ce projet est la réfection des glissières de sécurité le long de la route 155, située dans la zone du village de Grandes-Piles en Mauricie. La principale problématique à résoudre réside dans la proximité de la route avec la rivière, imposant une norme exigeant un recouvrement spécifique derrière les poteaux de la glissière, soit 500 mm de remblai.

L'objectif majeur est de concevoir une solution respectant strictement cette norme pour assurer la sécurité routière.

Pour aborder cette problématique, une étude d'opportunité a été entreprise, mettant particulièrement l'accent sur le processus d'arpentage et explorant les possibilités d'intégration du BIM dans la phase de pré-construction. Pendant cette étude, l'utilisation du Lidar a joué un rôle fondamental pour obtenir un modèle 3D permettant d'évaluer la solution optimale. Le Lidar routier existant a facilité la création d'une polyligne sur les 11 km à l'aide de l'outil Trident, générant ainsi un pseudo-Modèle Numérique de Terrain (MNT) avec la résolution requise. Les logiciels de CAO, tels qu'AutoCAD et Trident, ont été amplement utilisés dans ce processus.

Les défis liés à la réalisation du projet comprennent la nécessité d'une précision extrême dans les relevés topographiques, notamment pour évaluer la distance de 500 mm derrière les poteaux en respect de la norme. Cette évaluation est rendue délicate par l'absence de mesures exactes à ce stade, en raison de l'absence d'arpentage. Un autre ensemble de défis est lié à l'acquisition exhaustive des données existantes. La présence de talus abrupts complique l'acquisition, avec des difficultés à couvrir toute la zone uniquement avec un Lidar routier et à évaluer la distance derrière les poteaux de la glissière.

Les défis liés à l'implantation du BIM, identifiés au cours de l'entretien, comprennent le manque de personnel pour le suivi post-construction et la finalisation des éventuelles maquettes BIM, ainsi que le transfert de connaissances lors des départs au sein de l'équipe. La gestion de l'information du projet présente également des défis, avec une dispersion des données et une difficulté générale pour les membres de l'équipe de les localiser. Enfin, les réglementations en vigueur imposent de travailler en double, obligeant à refaire les relevés d'arpentage en raison de l'interdiction d'utiliser des données non supervisées.

Le principal avantage du BIM dans ce contexte réside dans sa capacité à offrir une meilleure visualisation des solutions de conception dès la phase d'étude d'opportunité.

3.3.2 Ponts routiers

3.3.2.1 Pont P-13836 – Remplacement

Le pont, localisé dans la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury, a été érigé en 1969, s'étendant sur le Chemin de la Grande-Ligne au-dessus de la Rivière Hibou avec une longueur totale de 19,843 mètres et une largeur de 12,819 mètres. La dernière inspection générale a été réalisée le 06 juillet 2023, prévoyant la prochaine en 2025. Ce projet concerne le remplacement de cette structure vieillissante, un pont à dalle en béton armé, situé à Stoneham-et-Tewkesbury au-dessus de la rivière Hibou, dans la région administrative de la Capitale-Nationale.

Choisi comme projet pilote pour l'intégration du Building Information Modeling (BIM), ce projet présente diverses contraintes environnementales, techniques, et sociales, représentatives des défis habituellement rencontrés dans les projets du Ministère. Ces défis comprennent l'obtention de nombreuses autorisations environnementales, la gestion du trafic, et la relocation des services publics. La conception est effectuée en interne, au sein de la Direction Générale des Structures, avec une considération précoce du BIM dans le projet. Les applications spécifiques du BIM incluent la modélisation 3D, l'arpentage, la modélisation 4D, l'analyse hydraulique, l'analyse géotechnique, la conception routière, la gestion de la circulation, la conception électronique, les autorisations environnementales, la coordination interdisciplinaire via une plateforme collaborative, la surveillance de chantier, et l'exploitation des actifs.

L'entrevue menée en décembre 2022, au stade de l'avant-projet définitif, a révélé plusieurs avantages découlant de l'intégration du BIM, notamment une compréhension globale précoce du projet grâce à la maquette numérique, une minimisation des temps et coûts de conception, des gains procéduraux grâce à la visualisation 3D facilitant l'obtention des autorisations environnementales et la planification optimale des déplacements de réseaux. D'autres avantages incluent un meilleur contrôle des coûts et des échéanciers ainsi qu'une gestion améliorée des modifications de conception.

Toutefois, des défis inhérents à l'implémentation du BIM ont été identifiés, tels que la résistance au changement des équipes de projet, le déficit en équipements performants pour traiter les données de la maquette, et la nécessité d'une intégration plus étroite entre les différentes équipes du projet.

3.3.2.2 Pont de l'île-aux-tourtes – Reconstruction

Le pont de l'Île-aux-Tourtes, reliant l'île de Montréal (village de Senneville) à la Montérégie (ville de Vaudreuil-Dorion) sur environ 2 km, est en cours de reconstruction. Cette initiative vise à garantir la pérennité de l'infrastructure et, depuis avril 2023, le contrat pour la réalisation des travaux a été attribué selon le mode alternatif de conception-construction-financement au Groupe Nouveau Pont Île-aux-Tourtes inc., composé de Dragados Canada inc., Roxboro Excavation inc., et Construction Demathieu & Bard (CDB) inc. Ce projet d'envergure, estimé à 2,3 milliards de dollars canadiens (CAD) (Gouvernement du Québec, 2023b), a été sélectionné comme projet pilote pour l'intégration du BIM au sein du Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. L'entrevue relative à ce projet a été réalisée en décembre 2022, alors que le projet était encore en phase de planification. La Figure 3.3 présente une vue panoramique de ce pont.

La mise en œuvre du BIM dans ce projet repose grandement sur l'engagement du partenaire de réalisation, auquel il est demandé de fournir un soutien total à l'équipe de projet BIM du MTMD. Les exigences BIM sont rigoureusement définies dans le contrat, ainsi que les objectifs spécifiques liés à l'utilisation du BIM. Dans ce contexte, l'intégration du BIM dans ce projet vise notamment à réaliser les activités suivantes :

- Modélisation de l'existant;
- Création de modèles métiers et analyses associées;
- Phasage ou séquençage des travaux (BIM 4D);
- Détection et gestion des interférences;
- Extraction des plans 2D à partir des modèles 3D;
- Création de modèles numériques « tels que construits »;
- Gestion et exploitation des actifs à l'aide d'un modèle numérique évolutif.



Figure 3.3 Vue panoramique en image de synthèse du pont de l'île aux tourtes
Tirée de Gouvernement du Québec (2023b)

L'un des défis identifiés dans ce projet consiste à harmoniser le processus BIM avec le programme de PCA (planification de la continuité des activités) et à en tirer des enseignements pour les utilisations futures. L'intégration du processus BIM au programme de PCA pourrait impliquer la mise en place de mesures spécifiques pour garantir la continuité des activités liées au BIM en cas d'incident ou de perturbation. Ce défi représente également une opportunité pour le BIM. D'autres opportunités pour le BIM dans ce projet incluent :

- L'acquisition des connaissances des pratiques BIM de l'entrepreneur afin de documenter les processus et de les intégrer dans les projets futurs ;
- L'évaluation de l'impact du BIM sur la qualité du projet en le comparant à des projets antérieurs, par exemple;
- La création d'un jumeau numérique du pont et surveiller son évolution au fil du temps pendant la phase d'exploitation, en utilisant les capteurs qui seront installés.

3.3.2.3 Pont Camille-Parenteau – Structure P-08044

Ce projet vise à entreprendre la réfection de la structure P-08044, également connue sous le nom de Pont Camille-Parenteau, située dans la municipalité de Yamaska, en Montérégie. Avec une longueur de 309,7 mètres, ce pont fait l'objet d'inspections tous les quatre ans pour évaluer l'état de sa structure. Bien que l'entrevue relative à ce projet ait eu lieu en mai 2023, un appel d'offres public a été lancé en septembre 2023 pour la conception. Notons que ce projet a été sélectionné parmi les projets pilotes pour l'implantation du BIM.

L'enjeu majeur identifié pour ce projet concerne la capacité de l'industrie, notamment en termes d'équipements, à suivre la démarche BIM. Dans le cadre de ce projet, un balayage Lidar 3D terrestre a été réalisé, servant de base à la création du modèle numérique de terrain. Les opportunités envisagées pour le BIM dans ce projet incluent la création d'un jumeau numérique, étant donné que le pont sera instrumenté, ainsi que l'optimisation des phases d'exploitation et de maintenance.

3.3.2.4 Pont Gédéon-Ouimet – Reconstruction

Ce projet implique la conception d'un nouveau pont d'environ 1 km, établissant une liaison entre Laval et Boisbriand, sur la Rive Nord de Montréal. Actuellement en phase de préparation des études d'avant-projet, le budget total n'a pas encore été formellement défini, mais il est anticipé qu'il atteindra la catégorie des projets majeurs, avec une estimation de l'ordre du milliard de dollars canadiens, compte tenu de l'ampleur des travaux à entreprendre.

La conception du projet est assurée par un mandataire externe, formé d'un groupement de trois firmes, qui utilise la modélisation d'information du bâtiment (BIM). Un modèle 3D est élaboré et géré par le mandataire, bien que son utilisation soit limitée par l'équipe du Ministère aux fins de visualisation et de communication du projet envers les parties prenantes. Notamment, aucune exigence BIM n'a été émise par le donneur d'ouvrage au préalable, ce qui a restreint son intégration dans le cadre de ce projet. De plus, les livrables fournis par le mandataire sont en format PDF, avec des plans en 2D.

Ce projet est étroitement lié à celui de l'aménagement de voies réservées sur l'autoroute 15, mentionné précédemment. Le pont Gédéon-Ouimet se trouve dans l'axe de l'autoroute 15, partageant ainsi le même chargé de projet. Les enjeux et défis ont été identifiés de manière conjointe pour ces deux projets lors d'une entrevue unique réalisée le 8 août 2023.

En prévision des travaux préparatoires prévus pour 2026, une opportunité significative pour le BIM dans ce projet serait d'intégrer cette approche à la phase de réalisation. Cela permettrait l'exploitation de la maquette numérique créée pendant la conception, offrant une mine d'informations précieuses. La création d'un jumeau numérique dès la phase de réalisation, évoluant en parallèle avec le projet, représenterait une excellente opportunité, en particulier pour la gestion et l'exploitation des actifs, d'autant plus que le pont sera équipé d'instruments.

3.3.2.5 Pont de Québec – Remplacement du tablier

Ce projet a pour objet le remplacement complet du tablier du pont de Québec sur toute sa longueur, qui s'étend sur près de 10 km, en raison de son état de dégradation avancé. Actuellement en phase de planification, les détails concernant le budget total et l'échéancier demeurent à préciser (Gouvernement du Québec, 2023d).

Les relevés Lidar ont été confiés à une firme indienne, chargée de collecter des données pour la création du modèle numérique de terrain. Le mandataire responsable de la conception applique la modélisation d'information du bâtiment (BIM) dans le cadre de ce projet. Le Ministère intervient en tant qu'observateur, en utilisant la plateforme BIM 360 pour visualiser le projet en 3D. Cette fonctionnalité offre une visibilité aux nombreuses parties prenantes impliquées dans le projet. Cependant, la gestion de ce grand nombre de parties prenantes présente un défi, notamment en ce qui concerne les échanges et le traitement des demandes d'autorisations.

Les avantages découlant de l'utilisation du BIM dans ce projet ont été soulignés, notamment en ce qui concerne la détection des conflits pendant la phase de conception, l'amélioration des échanges entre le mandataire et le ministère, ainsi que la facilité de mise à jour des plans (« *Le*

BIM a permis de capter les conflits potentiels et modifier facilement les plans »). Un autre avantage mentionné est l'aide apportée à l'inspection de l'ouvrage.

3.3.2.6 Pont P-07416 – Remplacement

La structure P-07416, un pont de type acier-bois d'une longueur totale d'environ 16 mètres situé dans la municipalité de Yamachiche en Mauricie, nécessite un remplacement en raison de son état, ayant été construit en 1955. Actuellement en phase de plans et devis préliminaires, le projet de reconstruction vise à débiter les travaux en 2024, avec un coût estimé à 1,5 million de dollars, suivant le mode traditionnel d'approvisionnement, notamment un Contrat d'exécution sur demande en plusieurs prestations de services.

Les défis inhérents à ce projet comprennent des contraintes liées à l'emplacement, telles que l'exiguïté du site et la présence d'un cimetière ancestral de grande valeur ainsi que d'une église. Les demandes d'autorisations environnementales ont également posé des défis en raison de délais prolongés, retardant le démarrage des travaux. Les interactions avec les multiples parties prenantes ont créé des retards supplémentaires dans un projet de taille relativement réduite. La gestion de l'information du projet présente des risques de pertes, avec des commentaires et des échanges effectués principalement par courriel ou sur OneDrive.

Les technologies numériques utilisées incluent l'acquisition de l'existant par balayage laser grâce au Lidar, avec exploitation du nuage de points pour la création du modèle numérique de terrain. Les équipes de projet utilisent Teams pour les échanges, OneDrive pour le partage des documents, et OneNote pour la prise de notes. Cependant, ces outils ne sont pas intégrés de manière centralisée, ce qui entraîne une dispersion de l'information du projet. Pour ce projet, la chargée d'activité interviewée a mentionné ne pas avoir entendu parler du BIM avant la rencontre.

3.3.3 Tunnels routiers

3.3.3.1 Tunnel Louis-Hyppolite-Lafontaine – Réfection

Ce projet vise la réfection majeure du tunnel Louis-Hippolyte Lafontaine, inauguré en 1967, dans le but de prolonger sa durée de vie d'environ 40 ans sans autre intervention d'envergure. Les principales interventions comprennent une réfection structurale majeure, la modernisation des équipements d'exploitation, et un réaménagement des couloirs de services avec des protections supplémentaires contre l'incendie. Sous le mode alternatif de conception-construction-financement, ce projet d'envergure, planifié sur une période de 6 ans à partir de 2020, est estimé à près de 2,5 milliards de dollars canadiens (Gouvernement du Québec, 2023c).

Bien que le BIM soit mis en œuvre dans le cadre de ce projet, il ne constitue pas une exigence formelle du Ministère. Les utilisations du BIM incluent l'acquisition des conditions existantes, les modélisations métiers et les analyses, ainsi que la visualisation en 3D du projet. L'acquisition des conditions existantes a été réalisée à l'aide d'un relevé LiDAR complet du tunnel et des cheminées d'évacuation, générant ainsi un modèle numérique de terrain. Le mandataire utilise ses propres technologies BIM en interne, excluant la pleine participation du Ministère dans ce processus BIM. Le Ministère a néanmoins accès aux dessins 2D réalisés par le mandataire via SmartView, tandis que le système Aconex est utilisé pour les communications officielles et les échanges avec les parties externes.

Un enjeu crucial a été soulevé concernant la communication et la collaboration entre le Ministère et le Mandataire, représentant un obstacle significatif au bon déroulement du projet. Une réticence à la communication et au partage en temps réel de l'information du projet a été constatée du côté du mandataire. De plus, la gestion de l'information du projet sur l'ensemble du cycle de vie a été identifiée comme un défi, visant à éviter les pertes de données et les ressaisies.

3.3.3.2 Tunnel Ville-Marie – Réfection

Les travaux de réfection majeure du Tunnel Ville-Marie, situé au centre-ville de Montréal, ont débuté en 2020 et sont planifiés sur une période de 10 ans, avec un budget de 2 milliards de dollars. Ce projet d'envergure vise principalement la réparation des éléments structuraux tels que les ponts d'étagement, les murs de soutènement et les chaussées, tout en incluant la modernisation des systèmes électriques, d'éclairage, de ventilation, de drainage et de communication.

Le projet a été subdivisé en 6 lots, et l'intégration du BIM a commencé dès la réalisation du lot 1. Une collaboration étroite entre les équipes du Ministère et les parties prenantes externes s'organise autour de la maquette numérique du projet. Des outils BIM tels que Revit, Navisworks et Cintoo sont utilisés par le mandataire et l'équipe d'ingénierie du Ministère.

Les enjeux et défis associés à ce projet comprennent notamment le nombre élevé d'équipements à réfectionner, nécessitant une planification minutieuse de la gestion quotidienne et de la maintenance. Cependant, des obstacles à l'implantation du BIM ont été identifiés, tels que le manque de puissance des ordinateurs au Ministère, entravant la visualisation en 3D de la maquette, ainsi que des préoccupations liées à la sécurité de l'information, notamment en raison des serveurs hébergés à l'étranger malgré l'interdiction d'utiliser un *cloud* hors du territoire canadien. De plus, le défi de disposer d'une main-d'œuvre qualifiée pour maîtriser les processus et technologies BIM a été souligné.

Le recours au BIM présente d'importantes opportunités pour ce projet, en particulier dans la phase d'exploitation et de maintenance des actifs, avec des avantages potentiels tels qu'un accroissement de l'efficacité des processus et une réduction des modifications de conception.

3.3.4 Infrastructure aéroportuaire

3.3.4.1 Aéroport de Québec – Hangar

Il s'agit d'un projet pilote sélectionné pour l'implantation du BIM, visant l'agrandissement du hangar existant au sein de l'Aéroport de Québec. Ce hangar abrite les avions dédiés aux services de santé d'urgence et aux services de sécurité incendies. L'entrevue, réalisée en

décembre 2022, correspond à la phase préliminaire d'évaluation des besoins du projet. À ce stade, la modélisation existante, illustrée dans la Figure 3.4, a été présentée.

Le Ministère, responsable du transfert des besoins, collabore avec les équipes de conception de la Société Québécoise des Infrastructures (SQI). Bien que les exigences et la planification BIM n'aient pas encore été établies, le Ministère a identifié des risques majeurs liés aux aspects programmatiques du projet. Ces risques comprennent des évaluations de besoins, des contraintes de programmation, et des considérations budgétaires. La gestion BIM est envisagée comme un moyen d'atténuer ces risques.

Même si les exigences BIM spécifiques n'étaient pas définies au moment de l'entrevue, le Ministère espère tirer profit de ce projet en acquérant des enseignements précieux de la SQI sur la gestion BIM. Cette collaboration entre les deux entités est perçue comme une opportunité d'amélioration des pratiques et de partage d'expertise dans le domaine du BIM.

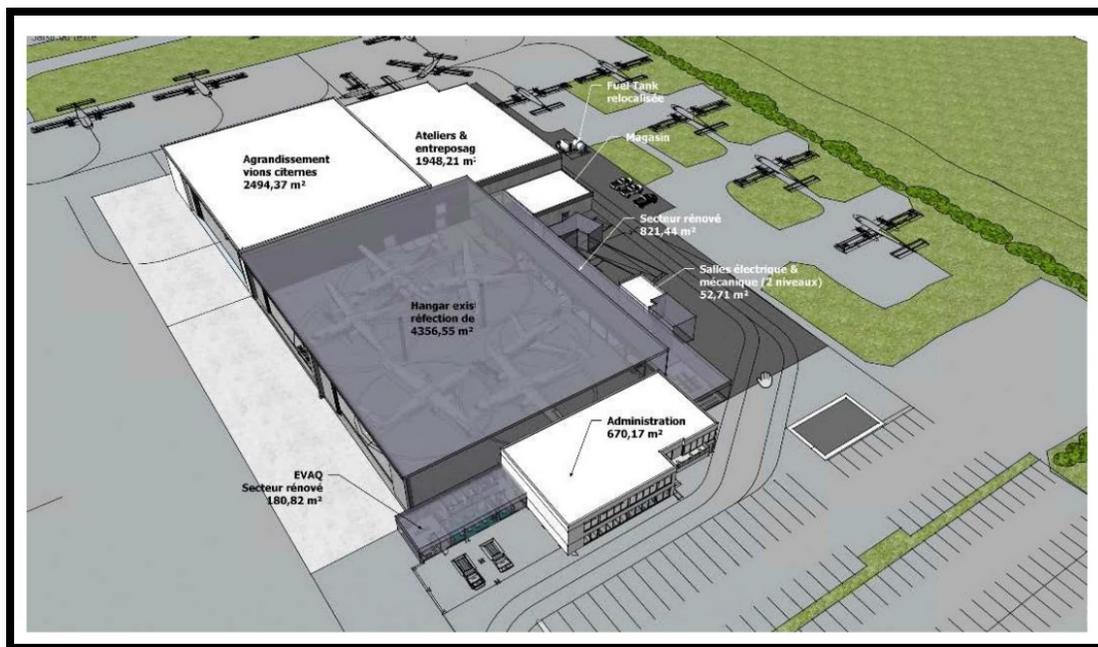


Figure 3.4 Modélisation du projet d'agrandissement du Hangar de Québec

3.3.5 Bâtiment

3.3.5.1 Centre de service Foster – Reconstruction

Ce projet a pour objectif la reconstruction du Centre de Service Foster, un bâtiment administratif vétuste situé de l'autre côté de l'autoroute 10, dans la municipalité de Shefford en Estrie. Occupant une superficie totale de 1900 m², le bâtiment nécessite une reconstruction complète. La Société Québécoise des Infrastructures (SQI) est entièrement responsable de la gestion du projet, tandis que le Ministère intervient pour valider les besoins. Le budget total du projet est estimé à 36 millions de dollars, avec une livraison prévue en 2025.

Au moment de l'entretien, qui a eu lieu le 22 décembre 2022, le projet se trouve encore au stade de la validation des besoins, mais des enjeux et défis ont été identifiés. Le respect des coûts et des délais a été mentionné comme un défi majeur. Un autre enjeu concerne la transition entre les processus actuels et les processus BIM, car l'approche classique a été utilisée pour la validation des besoins.

Les usages prévus du BIM pour ce projet incluent la Modélisation 3D, la Coordination 3D, la Plateforme de collaboration, ainsi que la création d'un Jumeau numérique pour l'exploitation et la maintenance du bâtiment. Les opportunités BIM pour ce projet résident dans l'exploration des méthodes BIM de la SQI. Les avantages perçus du BIM pour ce projet sont la stabilisation des coûts et de l'échéancier, ainsi que la meilleure compréhension du projet par les utilisateurs finaux.

3.4 Analyse croisée des projets

3.4.1 Niveau d'utilisation du BIM dans les projets du Ministère

La synthèse de l'analyse des données provenant des entrevues relatives à chaque projet démontre que, à ce stade, la modélisation numérique en 3D du projet constitue l'usage le plus répandu dans les projets du Ministère, représentant 76% des occurrences parmi les 21 projets recensés. Cependant, il est important de noter que l'exploitation effective du modèle 3D existant pour la visualisation en 3D du projet est moins fréquente, ne représentant que 28,5%.

Un autre usage fréquemment relevé concerne l'utilisation de plateformes collaboratives pour gérer les communications entre les parties prenantes, avec une occurrence de 38%. Cette utilisation peut être gérée soit uniquement au sein de l'équipe du mandataire, soit au sein du Ministère pour la collaboration avec des parties prenantes externes.

L'acquisition des conditions de terrain existantes à l'aide de technologies telles que le Lidar 3D mobile et le Lidar 3D aéroporté se positionne comme le second usage le plus récurrent, identifié dans 62% des projets. Cet usage est étroitement lié à la création d'un modèle numérique de terrain, qui est utilisé en tant qu'intrant pour la conception 3D et représente 52% de couverture parmi les projets étudiés.

Par ailleurs, le BIM est exploité dans les projets pour effectuer des analyses (environnementales, hydrauliques, géotechniques) et des simulations (énergétiques, incendie), contribuant à une meilleure planification de la phase de réalisation. Cependant, ces analyses et simulations à partir du modèle 3D ne sont que rarement utilisées dans les projets, ne représentant qu'une couverture d'environ 14%, relevée pour seulement 3 projets.

D'autres usages de la maquette numérique ont été évoqués lors des entretiens, mais avec une faible couverture globale sur l'ensemble des projets. Cela peut être attribué au fait que certains projets recensés étaient considérés comme des projets "pilotes" avec des exigences et des usages BIM déjà définis. Pour les autres projets, l'adoption du BIM dépend davantage de l'initiative du mandataire. Ces autres usages comprennent la gestion de la circulation, la génération de plans 2D à partir du modèle 3D, le phasage et le séquençage des travaux (BIM 4D), la coordination 3D, la création du modèle tel-que construit, et l'exploitation et la gestion des actifs.

Un résumé des usages du BIM identifiés dans les projets du Ministère est présenté à la Figure 3.5, accompagné du pourcentage de fréquence de chaque usage à travers l'ensemble des projets.

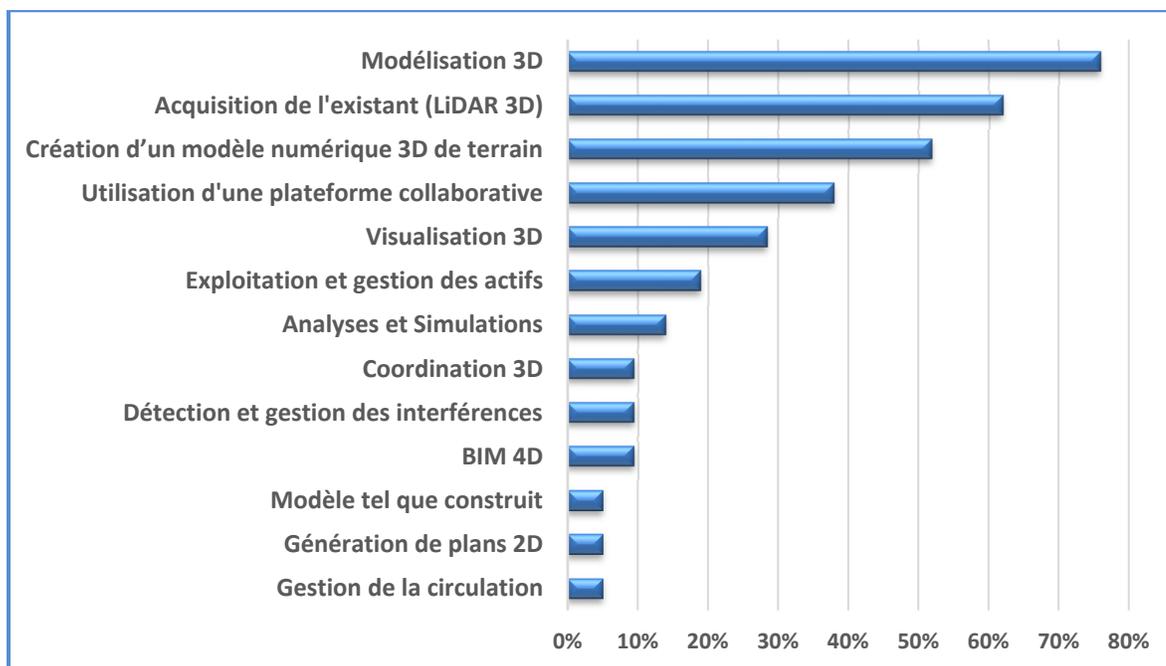


Figure 3.5 Représentation (en pourcentage) des usages BIM répertoriés

L'analyse des usages du Building Information Modeling (BIM) dans les projets du Ministère révèle une prédominance de la modélisation numérique en 3D, représentant 76% des occurrences. Cela suggère une utilisation encore majoritairement axée sur la visualisation tridimensionnelle, indiquant un stade initial d'adoption du BIM. Cette focalisation sur la modélisation 3D pourrait signifier une utilisation plus traditionnelle (CAO) du BIM, mettant en lumière une opportunité d'accroître la sensibilisation et la formation pour une utilisation plus holistique.

Par ailleurs, l'usage fréquent du BIM pour l'acquisition des conditions existantes, le positionnant comme le deuxième usage le plus répandu (62%), dénote une reconnaissance de l'importance de données précises en début de projet. Cela suggère une volonté d'améliorer la précision des données géospatiales via des technologies comme le Lidar 3D mobile, formant ainsi une base solide pour la conception. Ces constats soulignent l'opportunité de promouvoir une utilisation plus avancée du BIM et d'explorer ses aspects collaboratifs et informatifs au sein du Ministère.

3.4.2 Écosystème numérique des projets

L'écosystème numérique au sein du MTMD se révèle comme un ensemble intégré de technologies et d'outils numériques déployés de manière stratégique pour soutenir l'ensemble du cycle de vie des projets. Les entretiens menés ont permis de dégager une vision assez globale de cet écosystème, mettant en lumière les technologies et les plateformes qui jouent un rôle essentiel dans la gestion et la réalisation des projets du MTMD.

Une tendance marquante dans l'écosystème numérique du MTMD est l'utilisation répandue de la technologie LiDAR 3D, notamment dans le cadre de l'acquisition des conditions de terrain existantes. Cette technologie se conjugue harmonieusement avec l'utilisation fréquente du BIM, soulignant ainsi l'importance de la modélisation numérique des conditions existantes dans les initiatives du MTMD.

Parallèlement, une diversité d'outils numériques est mobilisée pour des tâches telles que l'arpentage, les relevés bathymétriques, avec des exemples incluant Trimble PCS900, Leica Pavesmart 3D, Topcon Milling 3D, ainsi que des scanners multi-faisceaux, mono-faisceau, echo-sondeurs et GPS. De plus, l'utilisation de drones pour les relevés numériques de terrain confirme l'adoption de technologies innovantes pour optimiser la collecte de données.

En ce qui concerne la modélisation des projets, le MTMD tire parti d'une gamme de logiciels tels que CIVIL 3D, Power InRoads, Autocad, ORDAutoCAD, Revit et Trident. Ces outils sont sélectionnés en fonction des besoins spécifiques de chaque projet.

La gestion des interactions et de la coordination entre les parties prenantes aux projets repose sur des plateformes telles qu'Aconex, One Note, Teams, Sharepoint, OneDrive, Cintoo et Autodesk BIM 360. Ces plateformes facilitent la collaboration en temps réel, renforçant ainsi l'efficacité des processus de travail.

La gestion documentaire et de l'information sur l'ensemble du cycle de vie des projets bénéficie de l'utilisation de la plateforme interne de gestion documentaire du MTMD, la GID.

Les outils PlaniActif et SIGO sont également mentionnés comme des atouts clés pour la gestion et l'exploitation des actifs tout au long du cycle de vie des projets.

Notamment, le Ministère utilise divers systèmes de gestion de l'information de projet, parmi lesquels le système GPR (Gestion des projets routiers) prédomine pour les projets d'une certaine envergure. Le GPR favorise la consultation de diverses sources de données dans le projet, la planification détaillée et le suivi centralisé des projets, illustrant ainsi une approche intégrée pour garantir la cohérence et l'efficacité opérationnelle dans la réalisation des projets du MTMD.

3.4.3 Avantages de l'utilisation du BIM

Bien que l'adoption du BIM dans les projets du Ministère demeure à un stade préliminaire, des bénéfices significatifs ont émergé, surtout dans le contexte des projets pilotes qui ont embrassé cette approche. Les avantages identifiés à travers les entretiens révèlent une diversité d'impacts positifs, démontrant le potentiel du BIM à apporter des améliorations substantielles. Cette section détaille les bénéfices relevés au cours des entretiens, mettant en lumière les points forts de cette pratique émergente. La récurrence de ces bénéfices à travers les projets est présentée à la Figure 3.6.

- **Aide à l'inspection** : Le BIM a démontré son utilité en facilitant le processus d'inspection, offrant une vue détaillée et actualisée des infrastructures inspectées.
- **Détection des conflits** : Une capacité accrue à détecter et résoudre les conflits potentiels a émergé comme un avantage clé, contribuant à prévenir des complications ultérieures, et à optimiser les processus de conception et réalisation.
- **Validation des solutions de conception** : Les entretiens soulignent que le BIM offre un support précieux pour la visualisation et la validation des solutions de conception, favorisant la prise de décisions éclairées.
- **Amélioration de l'acquisition de l'existant** : La démarche BIM facilite l'acquisition d'informations sur l'existant, notamment à travers des technologies associées à l'instar du balayage laser (Lidar).

- **Gestion des modifications** : Une meilleure gestion des modifications de conception a été observée, permettant une adaptation plus fluide aux évolutions du projet, grâce à la maquette numérique.
- **Planification/suivi du projet** : Le BIM a été associé à une amélioration notable de la planification et du suivi du projet, optimisant les processus de gestion.
- **Amélioration de la collaboration et des interactions** : L'amélioration de la collaboration et des échanges entre les parties prenantes est récurrente, soulignant le rôle clé du BIM dans la communication efficace.
- **Anticipation des risques** : Le BIM a démontré sa capacité à anticiper les risques, offrant ainsi une approche proactive de la gestion des problèmes.
- **Automatisation de la mise à jour du projet** : L'automatisation des mises à jour du projet a été notée comme un avantage opérationnel, assurant la cohérence des données.
- **Centralisation de l'information** : La centralisation de l'information a été facilitée par le BIM, simplifiant l'accès aux données essentielles.
- **Demandes d'autorisations facilitées** : Les entretiens suggèrent que le BIM faciliterait le processus de demandes d'autorisations, simplifiant les démarches administratives.
- **Économies de temps et des coûts** : Des bénéfices tangibles en termes d'économies de temps et de coûts ont été observés, soulignant l'efficacité accrue de la méthode BIM.
- **Gain en efficacité** : Une amélioration générale de l'efficacité opérationnelle a été constatée, reflétant l'impact positif du BIM sur les processus de travail.
- **Contrôle des coûts et échéanciers** : Le BIM a été associé à un meilleur contrôle des coûts et des échéanciers, contribuant à la gestion globale des projets.
- **Compréhension du projet** : Les entretiens indiquent une meilleure compréhension du projet grâce au BIM, favorisant une vision holistique.
- **Gestion et coordination de l'information** : Une amélioration significative de la gestion et de la coordination de l'information est soulignée, prévenant les pertes de données.

- **Visualisation du projet** : La capacité améliorée de visualisation du projet est relevée comme un avantage majeur, facilitant la communication visuelle.
- **Support d'aide à la décision** : Enfin, le BIM est perçu comme un outil de support décisionnel, fournissant des informations cruciales pour des choix informés.

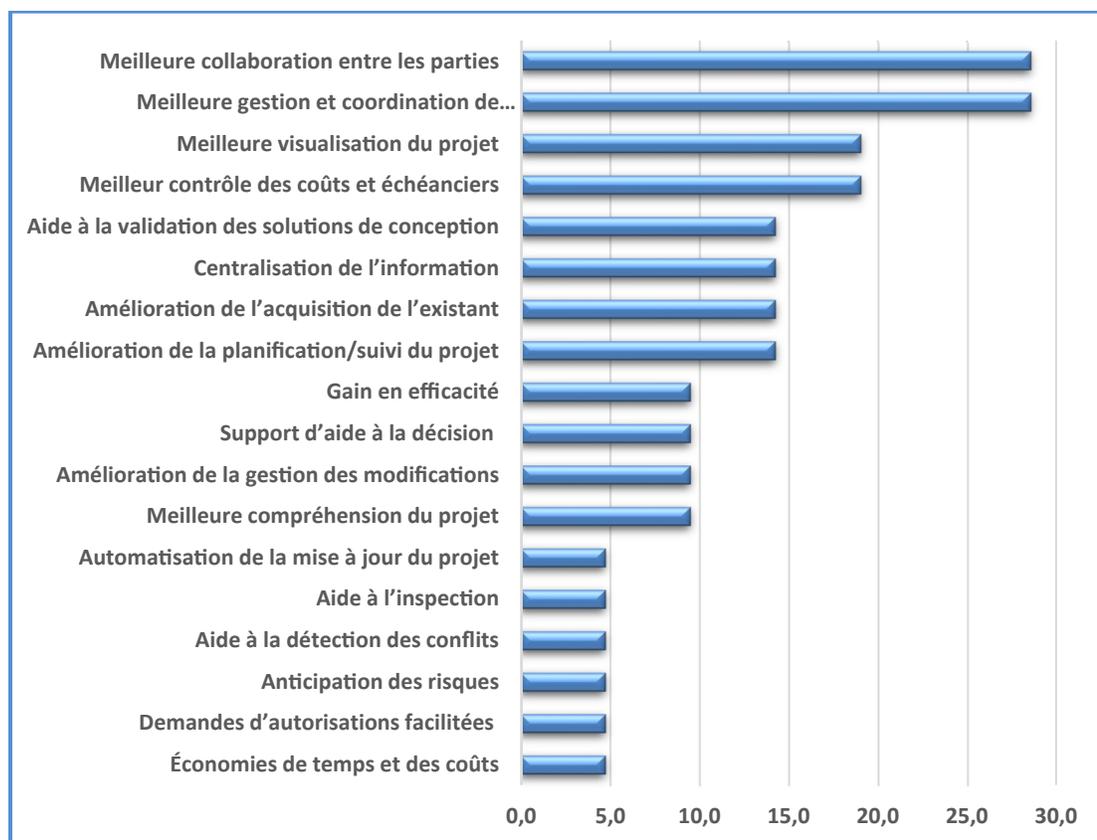


Figure 3.6 Répartition (en pourcentage) des avantages répertoriés

3.4.4 Enjeux et défis de l'implantation du BIM au Ministère

Les défis inhérents à la mise en œuvre du Building Information Modeling (BIM) dans les projets du Ministère se regroupent autour de plusieurs axes clés :

- **Niveaux de Maturité du BIM entre les Parties Prenantes** : Les divergences de maturité du BIM entre les intervenants créent des défis, révélant que l'industrie est souvent plus avancée dans l'utilisation des technologies BIM que le Ministère. Cela

se manifeste notamment par l'utilisation plus répandue de logiciels de modélisation et de plateformes collaboratives.

- **Infrastructure Informatique et Logiciels** : Les entretiens ont mis en évidence des lacunes dans l'infrastructure informatique actuelle, incapable de supporter certains logiciels BIM couramment utilisés dans l'industrie. Les disparités entre les outils du MTMD et les logiciels BIM représentent un défi supplémentaire.
- **Technologies d'Acquisition** : Bien que le Ministère dispose de technologies d'acquisition numériques, les projets nécessitant une précision extrême, comme ceux des routes 155 et 153, soulèvent la nécessité d'équipements de haute précision.
- **Gestion des Données Volumineuses** : La manipulation de fichiers volumineux, inhérente aux projets d'infrastructures, constitue un défi potentiel pour une implémentation efficace du BIM, pour la gestion de l'information générée.
- **Résistance au Changement** : La réticence des équipes à adopter de nouvelles technologies, combinée à la perception du temps nécessaire à cette transition, crée un défi pour réussir la transition BIM sans pertes de temps significatives.
- **Qualification de la Main d'Œuvre** : La nécessité d'experts dédiés à la gestion BIM pose un défi, d'autant plus que l'instabilité de la main-d'œuvre dans les projets peut entraver le transfert de connaissances.
- **Gestion des Délais** : La complexité des autorisations à obtenir pour la réalisation des projets implique la gestion stratégique des délais, notamment dans le contexte d'un grand nombre de parties prenantes.
- **Collaboration Interne et Externe** : La collaboration efficace entre les parties prenantes reste un défi majeur, reflétant des pratiques fragmentées au sein du Ministère et entre les équipes de gestion et les mandataires.
- **Gestion de l'Information** : La diversité des systèmes de gestion de l'information souligne le besoin d'une accessibilité facilitée et d'une intégration optimale de l'information pour maximiser l'efficacité du BIM.
- **Sécurité de l'Information** : Les enjeux juridiques et légaux entourant la possession et l'utilisation des informations numériques générées par le BIM nécessitent une clarification.

- **Contraintes Réglementaires** : Les réglementations existantes, à l’instar de celles relatives aux arpenteurs-géomètres, peuvent entraver l’adoption du BIM, exigeant parfois des levés de terrain supplémentaires et induisant des retards.

Cette synthèse met en lumière la complexité multidimensionnelle de la transition vers le BIM, soulignant la nécessité d’aborder des aspects techniques, organisationnels et humains de manière holistique lors de la mise en œuvre de cette méthodologie dans les projets du Ministère.

La Figure 3.7 présente la récurrence des enjeux et défis présentés dans l’ensemble des projets étudiés. Elle révèle la récurrence des défis liés à la collaboration interne et externe ainsi qu’à la gestion optimale de l’information de projet. Ceci souligne l’importance de mettre en place des stratégies spécifiques pour améliorer la collaboration et la gestion de l’information dans le cadre de l’adoption du BIM au sein du Ministère, afin de maximiser les avantages de cette méthodologie dans la réalisation de projets d’infrastructures complexes.

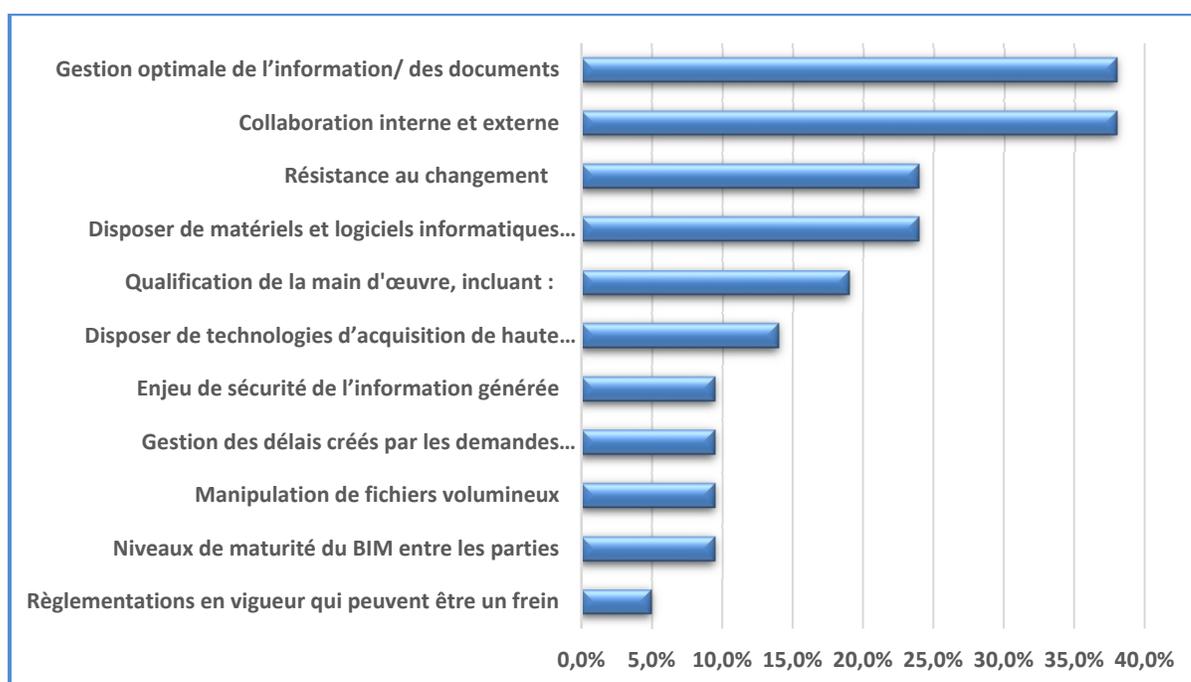


Figure 3.7 Répartition (en pourcentage) des enjeux et défis répertoriés.

3.4.5 Opportunités pour le BIM dans les projets

Les opportunités découlant de l'application du BIM ont été directement extraites des entretiens. En complément, des opportunités supplémentaires ont été discernées par le biais d'une analyse approfondie des défis rencontrés par les projets. Cette démarche a consisté à comparer ces défis avec les pratiques et avantages du BIM spécifiquement observés dans la littérature par rapport aux infrastructures de transport. Ainsi, en plus des opportunités évoquées explicitement au cours des entretiens, cette approche a permis d'identifier des perspectives pour l'implantation réussie du BIM, enrichissant ainsi la compréhension globale des bénéfices potentiels dans le contexte des projets du MTMD.

Une synthèse de ces opportunités est présentée ci-dessous :

- **Création de jumeau numérique des actifs** : Le BIM offre la possibilité de développer des jumeaux numériques pour les infrastructures, permettant une gestion en temps réel et une simulation virtuelle des opérations. Cette opportunité est envisagée pour des projets tels que le Pont P-13836, l'Aéroport de Québec, le Pont Camille-Parenteau et le Tunnel Louis-Hyppolite-Lafontaine, offrant des avantages substantiels pour l'exploitation et la maintenance des actifs.
- **Inspections de terrain à l'aide de drones** : L'utilisation de drones pour les inspections de terrain offre une perspective détaillée et rapide, facilitant la collecte de données pour la modélisation 3D et améliorant la précision des relevés. Cette opportunité a été spécifiquement mentionnée pour le projet du Pont P-13836.
- **Optimisation de la phase d'exploitation/maintenance** : Le BIM permet une gestion améliorée des informations relatives à l'exploitation et à la maintenance des infrastructures, contribuant à prolonger leur durée de vie utile et à réduire les coûts d'exploitation. Cette opportunité a été relevée comme étant pertinente pour plusieurs projets, notamment celui du Pont Camille-Parenteau.
- **Association BIM-GIS, notamment pour les inspections** : L'intégration du BIM avec les systèmes d'information géographique (GIS) facilite la gestion des données spatiales et la planification des inspections, assurant une coordination efficace entre les modèles BIM et les informations géographiques. Cette opportunité est envisagée pour des

projets tels que la reconstruction du Pont Gédéon-Ouimet et l'aménagement de voies réservées sur l'Autoroute 15.

- **Implantation de la démarche BIM pour des projets encore à l'étude** : Le BIM peut être implanté au stade de l'étude, même pour des projets déjà partiellement réalisés, offrant ainsi la possibilité de maximiser les avantages de cette démarche en l'intégrant dès les premières phases de conception, comme observé pour le projet du prolongement de la route 138.
- **Utilisation d'outils BIM intégrés pour des usages spécifiques** : Le BIM offre la flexibilité d'utiliser des outils spécifiques à des fins particulières, tels que la communication du projet aux populations locales, la réalisation d'analyses environnementales et géotechniques. Le projet de la route 138 illustre la diversité des usages possibles.
- **Réduction de l'écart industrie vs Donneurs d'Ouvrages, grâce à la vulgarisation du BIM** : La vulgarisation du BIM contribue à réduire l'écart de compréhension entre l'industrie et les donneurs d'ouvrages, favorisant une meilleure collaboration et une mise en œuvre plus harmonieuse.
- **Harmonisation des outils technologiques avec ceux déjà utilisés au Ministère** : Il existe une opportunité d'harmoniser les outils BIM avec ceux déjà maîtrisés au sein du Ministère, tels que les systèmes de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO), permettant ainsi une transition plus fluide.
- **Automatisation des processus** : Le BIM permet l'automatisation de nombreux processus, améliorant l'efficacité opérationnelle et réduisant les erreurs potentielles liées aux tâches manuelles.
- **Suivi de terrassement par relevés 3D aériens** : Les relevés 3D aériens facilitent le suivi du terrassement, assurant la conformité avec les plans de conception et permettant des ajustements en temps réel.
- **BIM pour la préfabrication** : Le BIM facilite la planification et la conception pour la préfabrication, améliorant ainsi l'efficacité de la construction.
- **Support pour la pérennisation de l'information de projet** : Le BIM offre une structure pour la conservation et la pérennisation des informations de projet, facilitant

l'accès aux données pertinentes à long terme, contrairement aux outils actuellement utilisées au Ministère, qui ont une limite de temps pour la conservation des données.

- **Validation des solutions de conception dès l'étude d'opportunité** : Le BIM permet une validation précoce des solutions de conception, réduisant les risques et améliorant la qualité du processus de conception.
- **Intégration du MNT 3D au modèle de conception 3D** : L'intégration du modèle numérique de terrain (MNT) 3D avec le modèle de conception 3D améliore la précision et la cohérence des modèles.

Ces opportunités reflètent la diversité des avantages que le BIM peut apporter aux projets d'infrastructures de transport, couvrant divers aspects tels que la communication, la gestion des actifs, l'optimisation des processus et la pérennisation des informations de projet. Ces opportunités, bien que spécifiques à chaque projet, soulignent le potentiel du BIM à répondre à des besoins variés et complexes au sein du Ministère. Les opportunités pour le BIM recensées lors des entrevues sont présentées à la Figure 3.8.

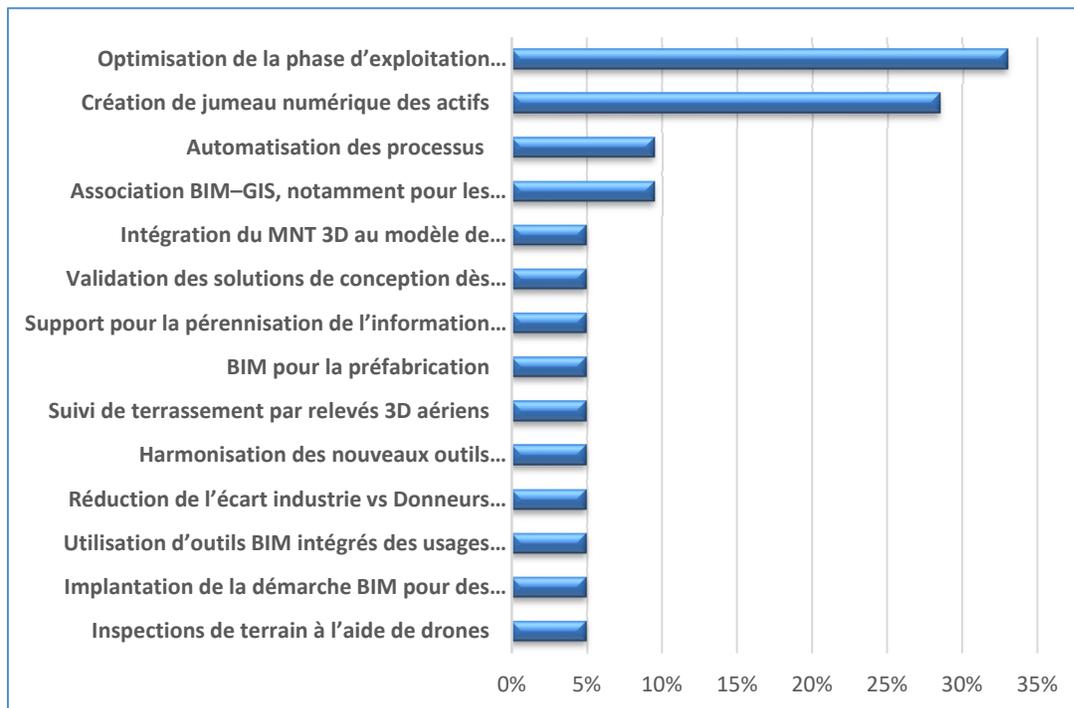


Figure 3.8 Répartition des opportunités répertoriées

3.4.6

3.4.6 Attentes et besoins de la mise en œuvre du BIM

Quelques attentes et besoins de la mise en œuvre du BIM ont pu être tirées des entretiens menés. Ils peuvent être classés comme suit :

- **Documentation pour amorcer le virage** : Il est nécessaire d'avoir une documentation complète et claire sur le processus de mise en œuvre du BIM pour initier le changement.
- **Structure pour amorcer le virage** : la mise en place d'une structure organisationnelle dédiée facilitera l'intégration du BIM, définissant les rôles et responsabilités au sein de l'équipe de projet.
- **Sensibilisation et communication sur la valeur ajoutée tangible du BIM** : il est essentiel de sensibiliser les équipes aux avantages concrets du BIM, montrant comment cette méthodologie peut apporter une valeur ajoutée tangible aux projets.
- **Communication massive sur ce qu'est le BIM dans les DT (Directions Territoriales)** : une communication étendue au sein des Directions Territoriales est nécessaire pour assurer une compréhension commune de ce qu'est le BIM et de son importance.
- **Formation adaptée des équipes** : des programmes de formation adaptés sont indispensables pour permettre aux équipes de développer les compétences nécessaires à la mise en œuvre réussie du BIM. La maîtrise des outils BIM utilisés nécessite une formation adaptée des équipes.
- **Nouveaux rôles pour la gestion BIM** : la création de nouveaux rôles dédiés à la gestion du BIM est cruciale, définissant des responsabilités spécifiques pour assurer une direction claire.
- **Avoir des équipements plus performants** : des équipements informatiques plus performants sont requis pour supporter les logiciels et technologies BIM, assurant une efficacité optimale dans le processus.

Conclusion du chapitre

En conclusion, le MTMD fait face à des défis complexes lors de la transition vers le BIM, mais il dispose également d'opportunités importantes pour améliorer la gestion de ses projets d'infrastructures. La compréhension des enjeux actuels et la prise en compte des opportunités offertes par le BIM seront déterminantes pour le succès de cette transition. Les leçons tirées des projets précédents, qu'ils aient utilisé le BIM ou d'autres technologies numériques, constituent une base solide et un cadre essentiel pour définir une mise en œuvre guidée du BIM dans les projets futurs du MTMD. Cette démarche doit s'appuyer sur l'analyse approfondie des expériences des acteurs de terrain, en particulier du personnel du Ministère, pour garantir une transition réussie et pérenne vers le BIM.

CHAPITRE 4

ACTIONS POUR LA MISE EN ŒUVRE DU BIM DANS LES PROJETS DU MTMD

Dans ce chapitre, l'examen des mesures nécessaires à instaurer au sein du Ministère en vue de la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures repose sur une analyse approfondie des initiatives internationales dédiées à cette mise en œuvre, d'une part, et des enjeux, attentes, et besoins issus de l'analyse des projets, d'autre part. L'objectif est d'identifier des actions spécifiques permettant l'intégration progressive du BIM dans les projets du MTMD. Cette analyse suit le cadre défini par feuille de route gouvernementale pour le BIM du Québec, référence dans le processus de mise en œuvre du BIM au MTMD, garantissant ainsi une adaptation pertinente au contexte ministériel.

4.1 Cadre Gouvernemental BIM du Québec

4.1.1 Contexte de la feuille de route gouvernementale

Dans le cadre de son Plan d'action pour le secteur de la construction, le gouvernement du Québec a instauré une feuille de route gouvernementale visant l'intégration progressive du BIM dans les projets d'infrastructure publique à partir de 2021. L'objectif principal est d'améliorer la productivité de l'industrie de la construction et de mettre en place une gestion plus efficace des projets, couvrant à la fois les bâtiments et les ouvrages de génie civil. Le MTMD est un partenaire clé de cette initiative, s'engageant à optimiser la gestion des données et des modèles numériques pour améliorer la conception, la construction et l'exploitation des actifs. Les défis à relever, tels que l'ajustement aux nouveaux processus et la formation des équipes, sont contrebalancés par des opportunités significatives, notamment l'amélioration de la productivité et la réduction des erreurs en chantier. Le contexte de la feuille de route fournit au MTMD un cadre clair pour guider sa transition vers le BIM avec des objectifs concrets.

4.1.2 État des lieux de la mise en œuvre du BIM au MTMD :

Le bilan des initiatives contribuant à la mise en œuvre du BIM au sein du MTMD jusqu'au 31 mars 2023, conforme à la feuille de route gouvernementale, présente plusieurs points saillants :

- **Lancement de 5 Projets Pilotes BIM** : Le MTMD a concrétisé son engagement en lançant cinq projets pilotes pour l'implantation du BIM. Ces projets englobent des structures diverses telles que le Hangar à l'Aéroport de Québec, le Centre de Service Foster, le Pont P- 13836, le Pont de l'Île-aux-Tourtes, et le Pont Camille-Parenteau. Les détails sur l'utilisation du BIM dans ces projets sont exposés dans le chapitre précédent.
- **Sondages Auprès des Équipes Ministérielles** : Des sondages ont été entrepris auprès des équipes du Ministère dans le but d'évaluer leur niveau de maturité dans divers domaines liés au BIM. Cette démarche vise à comprendre les besoins de formation et les ajustements nécessaires pour garantir le succès de la transition.
- **Gouvernance BIM et Comités d'Expertises Internes** : Le MTMD a mis en place une gouvernance BIM solide, accompagnée de comités d'expertises internes. Ces comités rassemblent des spécialistes essentiels pour la réussite des projets de transport. Ils apportent un soutien crucial au comité de coordination ministériel dans le développement et la mise en œuvre opérationnelle de la stratégie d'implantation du BIM.
- **Cibles Futures** : Le Ministère a établi des objectifs ambitieux pour les années à venir. Il envisage de lancer 10 projets supplémentaires en BIM au cours de l'exercice 2023-2024. Parmi les projets identifiés précédemment, en plus des cinq projets pilotes, 15 autres sont prévus pour le prochain exercice (2024-2025), et 20 projets pour l'exercice suivant (2025-2026). Ces projections démontrent un engagement continu du MTMD dans l'expansion de l'utilisation du BIM dans ses initiatives d'infrastructures de transport, avec une vision à long terme.

Ces démarches démontrent l'engagement du MTMD à démontrer les avantages du BIM à ses équipes et à l'industrie, tout en identifiant les enjeux pour les transformer en facteurs de succès.

Globalement, ces actions témoignent des progrès du MTMD dans sa transition vers l'utilisation généralisée du BIM dans ses projets d'infrastructures de transport.

4.1.3 Axes et activités définis par la Feuille de route gouvernementale

La FdR-BIM s'articule en quatre parties. Les deux premières parties indiquent les cibles en matière de mise en œuvre du BIM (projets, usages, initiatives spécifiques, etc.), et ces cibles ont déjà fait l'objet d'une étude dans le chapitre précédent. Les deux parties subséquentes indiquent les axes et les activités à entreprendre pour produire les livrables et résultats attendus de la FdR-BIM. Ceux-ci sont décrits à l'Annexe V. La feuille de route stipule que chaque donneur d'ouvrage public doit élaborer sa propre feuille de route, adapté à son contexte propre, dans la catégorie « 3.1 Mandats et objectifs ».

4.2 Analyse des résultats des entretiens projets par rapport à la FdR-BIM Gouv

Les résultats issus de l'analyse des projets du MTMD, comprenant les enjeux, attentes et besoins de la mise en œuvre du BIM, sont évaluées en référence aux axes et catégories de la Feuille de Route BIM du Gouvernement. L'objectif est d'identifier les actions nécessaires pour concrétiser la mise en œuvre du BIM dans ces projets. Dans le cadre de la recherche avec le MTMD, des ateliers ont été organisés par d'autres membres de l'équipe pour recueillir les perspectives des acteurs du MTMD sur la mise en œuvre du BIM dans les infrastructures de transport. Ces données ont été catégorisées en fonction des axes et catégories de la Feuille de Route BIM du Gouvernement, conduisant à l'identification d'actions spécifiques adaptées au contexte du Ministère. Cette approche a été reproduite pour coder les résultats préliminaires des entretiens de projet en actions concrètes pour la mise en œuvre du BIM dans les projets. Pour chaque dimension, (enjeux, attentes, besoins, opportunités), tous les éléments ont été examinés pour déterminer s'ils correspondent à une action (pour les éléments générant une action), à une contrainte, ou à un résultat anticipé de la mise en œuvre du BIM.

4.2.1 Enjeux

La plupart des enjeux identifiés lors des entretiens sont catégorisés comme des **actions** ou des **contraintes**.

- **Compréhension de la valeur ajoutée du BIM :** Cette catégorie est une **action** car elle implique directement une initiative proactive visant à élargir la communication sur le BIM. L'action consiste à s'assurer que toutes les équipes du MTMD comprennent pleinement la valeur ajoutée du BIM, renforçant ainsi la volonté d'adopter cette approche.
- **Défi d'alléger la transition vers le BIM :** Cet élément est considéré comme une **contrainte** car il représente une complexité inhérente au processus de passage au BIM. Cette contrainte crée un défi global pour la mise en œuvre du BIM dans les projets, nécessitant une approche globale pour atténuer les obstacles associés.
- **Défi de coopération et collaboration effective avec les parties externes :** il s'agit d'une **action**, suggérant une intervention concrète pour améliorer la collaboration, et faciliter les échanges entre les parties prenantes.
- **Différents niveaux de maturité du BIM entre les parties :** La disparité des niveaux de maturité représente une **contrainte**, car elle introduit des défis de coordination et de standardisation. La nécessité d'aligner les différentes parties sur des normes communes et des processus cohérents est cruciale pour garantir une mise en œuvre efficace du BIM.
- **Disposer de matériels et logiciels informatiques adaptés :** Cet enjeu implique une **action** directe, car elle nécessite une intervention proactive dans le domaine des technologies et des outils. L'action consiste à garantir que les équipes disposent du bon équipement informatique, créant ainsi les conditions nécessaires à une mise en œuvre réussie du BIM.
- **Disposer de technologies d'acquisition de haute précision :** Cet enjeu implique également une **action** directe nécessitant une intervention proactive dans le domaine des technologies et des outils. L'action consiste à garantir que les équipes ont accès à des technologies d'acquisition de haute précision, assurant ainsi des données fiables et précises pour l'acquisition des conditions existantes.

- **Enjeu de sécurité de l'information générée :** Cet enjeu nécessite une **action** directe pour garantir la sécurité des données. Une approche proactive dans les usages et la gestion de l'information est nécessaire pour répondre à cette préoccupation.
- **Gestion des délais créés par les demandes d'autorisation du grand nombre de parties prenantes :** La complexité des autorisations dans un contexte de multiples parties prenantes pourrait être considérée comme une contrainte. Cependant, une **action** concrète peut être entreprise pour adapter le processus de gestion des projets, minimisant ainsi les délais supplémentaires potentiels.
- **Gestion optimale de l'information/documents :** L'enjeu de la gestion optimale de l'information/documents suggère une **action** directe. Une approche proactive dans les usages et la gestion de l'information est nécessaire pour faciliter l'accessibilité et accélérer l'intégration optimale de l'information dans les processus de travail.
- **Intégration de toutes les équipes dans le processus BIM :** Cet enjeu nécessite une **action** concrète pour assurer l'engagement de toutes les équipes. Une approche proactive dans les ressources humaines et dans la communication/sensibilisation est nécessaire pour intégrer pleinement les acteurs de la gestion et de la réalisation des projets dans le processus BIM.
- **Manipulation de fichiers volumineux :** La manipulation de fichiers volumineux suggère des **actions** visant à optimiser non seulement la capacité de stockage et de traitement des outils informatiques au MTMD, mais aussi la gestion efficace d'un tel volume de données. Cela suggère donc des actions à la fois en termes de technologies et outils, ainsi qu'en termes d'usages et gestion de l'information.
- **Instabilité de la main d'œuvre pour assurer le transfert des connaissances :** Cet enjeu représente une **contrainte** pour le processus de mise en œuvre du BIM sur le long terme, impliquant des cycles interrompus de transfert de connaissances.
- **Qualification de la main d'œuvre :** La nécessité d'experts dédiés à la gestion BIM des projets suggère une **action** au niveau des ressources humaines pour assurer les qualifications nécessaires, préalablement répertoriées.
- **Règlementations en vigueur qui peuvent être un frein :** Des **actions** concernant les réglementations en vigueur sont nécessaires pour adapter les règlements des différents

corps de métier au contexte du BIM, afin d'éviter les conflits d'intérêt et les délais y afférent.

- **Résistance au changement** : Une **action** visant l'accompagnement est nécessaire pour gérer efficacement la résistance au changement. La réticence des équipes à adopter de nouvelles technologies, combinée à la perception du temps nécessaire à cette transition, nécessitent un suivi particulier afin de ne pas représenter un frein à la dynamique de mise en œuvre.
- **Réussir la transition BIM sans perte de temps** : il s'agit d'un **résultat anticipé** de la démarche de transition numérique, et des actions mises en place.

Cette classification a abouti à l'identification de 13 actions résultant de ces enjeux. Leur répartition selon les catégories de la feuille de route gouvernementale est présentée dans le Tableau 4.3.

Tableau 4.1 Classification des enjeux selon les catégories de la FdR-BIM Gouv

N°	Enjeux issus des projets	Type	Catégorie- FdR
1	Compréhension de la valeur ajoutée du BIM par les équipes	Action	2.1 Communications
2	Défi d'alléger la transition vers le BIM	Contrainte	2.3 Accompagnement
3	Défi de coopération et collaboration effective avec les parties externes	Action	4.1 Usages et gestion de l'information
4	Différents niveaux de maturité du BIM entre les parties	Contrainte	1.2 Partenariats et Communauté
5	Disposer de matériels et logiciels informatiques adaptés	Action	6.2 Technologies et outils
6	Disposer de technologies d'acquisition de haute précision	Action	6.2 Technologies et outils
7	Enjeu de sécurité de l'information générée	Action	4.1 Usages et gestion de l'information
8	Gestion des délais créés par les demandes d'autorisation du grand nombre de parties prenantes	Action	4.1 Usages et gestion de l'information
9	Gestion optimale de l'information/ des documents	Action	4.1 Usages et gestion de l'information
10	Intégration de toutes les équipes dans le processus BIM	Action	1.1 Ressources humaines
11	Manipulation de fichiers volumineux	Action	6.2 Technologies et outils
11	Manipulation de fichiers volumineux	Action	4.1 Usages et gestion de l'information
12	Instabilité de la main d'œuvre pour le transfert des connaissances, car processus très long	Contrainte	1.1 Ressources humaines
13	Qualification de la main d'œuvre	Action	1.1 Ressources humaines
14	Règlementations en vigueur qui peuvent être un frein	Action	3.3 Contrats et légal
15	Résistance au changement	Action	2.3 Accompagnement
16	Réussir la transition BIM sans perte de temps	Résultat	1.4 Gouvernance et coordination du déploiement

4.2.2 Besoins

L'ensemble des besoins issus des entretiens impliquent des actions précises à mettre en œuvre pour une transition réussie vers le BIM dans les projets. Le Tableau 4.2 présente la classification de ces besoins selon les catégories de la FdR-BIM Gouv.

- **Besoin de Documentation pour amorcer le virage** : Pour répondre à ce besoin, il est nécessaire d'entreprendre des actions concrètes telles que la fourniture de guides, de protocoles et de références appropriées, constituant des supports essentiels pour l'adoption réussie du BIM dans les projets.
- **Besoin de structure pour amorcer le virage** : Ce besoin implique l'action de mettre en place un cadre spécifique au contexte du MTMD, créant ainsi les conditions optimales pour la mise en œuvre efficace du BIM.
- **Besoin de sensibilisation et de communication sur la valeur ajoutée tangible du BIM** : Pour adresser ce besoin, il est essentiel de mettre en œuvre des actions ciblées de communication et de sensibilisation au sein du MTMD, mettant l'accent sur la valeur ajoutée tangible du BIM ainsi que sur les premiers succès observés.
- **Besoin de communication massive sur ce qu'est le BIM dans les Directions Territoriales** : Ce besoin requiert l'action spécifique dans le domaine de la communication pour assurer une diffusion étendue de l'information sur la nature du BIM au sein des Directions Territoriales, qui ne sont pas nécessairement au cœur de la démarche.

Tableau 4.2 Classification des besoins selon les catégories de la FdR-BIM Gouv

N°	Besoins issus des projets	Type	Catégorie- FdR
1	Besoin de Documentation pour amorcer le virage	Action	5.2 Guides
2	Besoin de structure pour amorcer le virage	Action	1.4 Gouvernance et coordination du déploiement
3	Besoin de sensibilisation et de communication sur la valeur ajoutée tangible du BIM	Action	2.1 Communications
4	Besoins de communication massive sur ce qu'est le BIM dans les DT	Action	2.1 Communications

4.2.3 Attentes

De même que pour les besoins, l'ensemble des attentes issus des entretiens impliquent des actions précises à mettre en œuvre pour une transition réussie vers le BIM dans les projets. Le Tableau 4.3 présente la classification de ces attentes selon les catégories de la FdR-BIM Gouv.

- **Formation adaptée des équipes** : La nécessité d'une formation adaptée aux pratiques liées au BIM implique une action essentielle visant à assurer la formation adéquate des équipes de projet, les préparant ainsi aux exigences spécifiques du BIM.
- **Nouveaux rôles pour la gestion BIM** : L'attente des acteurs de projets quant à la création de nouveaux rôles pour gérer efficacement les processus BIM nécessite une action spécifique. Il est impératif de mettre en place de nouveaux rôles adaptés au contexte BIM pour optimiser la gestion des projets.
- **Avoir des équipements plus performants** : Cette attente induit une action préalablement mentionnée, consistant à acquérir des équipements adaptés capables de supporter les logiciels BIM, assurant ainsi des performances optimales pour la mise en œuvre du BIM dans les projets.

Tableau 4.3 Classification des besoins selon les catégories de la FdR-BIM Gouv

N°	Attentes issues des projets	Type	Catégorie- FdR
1	Formation adaptée des équipes	Action	2.2 Formation
2	Nouveaux rôles pour la gestion BIM	Action	4.2 Rôles et responsabilités
3	Avoir des équipements plus performants	Action	6.2 Technologies et outils

4.2.4 Opportunités

Diverses actions (10 au total) ont émergé des opportunités identifiées au cours des entretiens. Des résultats potentiels de l'intégration du BIM dans les projets ont également émergé. L'analyse de ces opportunités est présentée par le Tableau 4.4.

- **Création de jumeau numérique** : Cette opportunité suggère une **action** concrète dans la catégorie 4.1 Usages et gestion de l'information, visant à définir cette possibilité comme un usage potentiel de la maquette BIM dans les projets.
- **Inspections de terrain à l'aide de drones** : Cette opportunité implique l'application de technologies innovantes, telles que les drones, pour l'acquisition des conditions existantes et le suivi des travaux en cours, constituant ainsi une **action**.
- **Optimisation de la phase d'exploitation/maintenance** : Cette opportunité représente un **résultat anticipé** de la mise en œuvre du BIM, mesurable au fil des années de réalisation des projets en BIM.
- **Association BIM – SIG** : Cette opportunité souligne la nécessité d'intégrer des technologies pour aligner les pratiques SIG avec les pratiques BIM, appelant ainsi à une **action**.
- **Utilisation des visuels 3D pour communication du projet**: Cette opportunité englobe **une action**, en particulier la production systématique de visuels 3D, pouvant servir à la communication du projet.
- **Réduction de l'écart industrie vs DO grâce à la vulgarisation du BIM** : La réduction de cet écart est un **résultat anticipé**, mesurable au fil des années de réalisation des projets en BIM.
- **Harmonisation des outils technologiques avec ceux déjà utilisés au MTMD** : Cette opportunité nécessite des **actions** visant à faire évoluer les outils du MTMD vers des outils BIM intégrés, facilitant ainsi la centralisation et l'échange d'informations.
- **Automatisation des processus** : Cette opportunité semble davantage relever d'un **résultat anticipé** de la mise en œuvre.
- **Suivi de terrassement par relevés 3D aériens** : Cette opportunité rejoint celle de l'inspection de terrain à l'aide de drones et implique des **actions** similaires.
- **Support pour la pérennisation de l'information de projet** : Cette opportunité suggère la nécessité d'**actions** visant à développer des outils favorisant la pérennisation de l'information de projet.

- **Intégration du MNT 3D au modèle de conception 3D** : Cette opportunité suggère une **action** visant à intégrer systématiquement les modélisations numériques du terrain au modèle de conception 3D.

Tableau 4.4 Classification des opportunités selon les catégories de la FdR-BIM Gouv

N°	Opportunités issues des projets	Type	Catégorie- FdR
1	Création de jumeau numérique	Action	4.1 Usages et gestion de l'information
2	Inspections de terrain à l'aide des drones	Action	6.2 Technologies et outils
3	Optimisation de la phase d'exploitation / maintenance	Résultat	1.3 Mesure et suivi de la performance
4	Association BIM – GIS	Action	6.2 Systèmes d'informations existants
5	Utilisation des visuels 3D pour communication du projet	Action	4.1 Usages et gestion de l'information
6	Réalisation de simulations environnementales à l'aide d'outils BIM intégrés	Action	4.1 Usages et gestion de l'information
7	Réalisation de l'interpolation géotechnique à l'aide d'outils BIM intégrés	Action	4.1 Usages et gestion de l'information
8	Réduction de l'écart industrie vs Donneurs d'ouvrage grâce à la vulgarisation du BIM	Résultat	1.3 Mesure et suivi de la performance
9	Harmonisation des outils technologiques avec ceux déjà utilisés au MTMD	Action	6.2 Systèmes d'informations existants
10	Automatisation des processus	Résultat	3.1 Mandats et objectifs
11	Suivi de terrassement par relevés 3D aériens	Action	6.2 Technologies et outils
12	Support pour la pérennisation de l'information de projet	Action	4.1 Usages et Gestion de l'information
13	Intégration du MNT 3D au modèle de conception 3D	Action	4.1 Usages et Gestion de l'information

4.3 Récapitulation des actions issues des projets

Les enjeux, besoins, attentes et opportunités, qui représentent des actions concrètes pour la mise en œuvre du BIM, sont récapitulés dans le Tableau 4.5, accompagnés des actions qui en découlent. Il est important de noter que les résultats des ateliers dirigés par d'autres membres

de l'équipe, qui ont généré des actions pour la mise en œuvre du BIM, ont été incorporés à cette étape. Cela a été fait dans le but d'harmoniser la syntaxe des actions provenant des projets, avec celle des actions issues des ateliers, dans la mesure du possible.

Tableau 4.5 Codage des données des projets en actions

N°	Données issues des projets	Catégories	Actions
1	Compréhension de la valeur ajoutée du BIM par les équipes	2.1 Communications	Assurer une communication claire autour du BIM et de sa mise en œuvre
2	Défi de coopération et collaboration effective avec les parties externes	4.1 Usages et gestion de l'information	Développer de nouvelles approches collaboratives soutenues par le BIM
3	Disposer de matériels et logiciels informatiques adaptés	6.2 Technologies et outils	Assurer la disponibilité et la performance du matériel et du réseau informatique
4	Disposer de technologies d'acquisition de haute précision	6.2 Technologies et outils	Assurer la disponibilité des outils spécialisés (simulation, planification, drones, etc.)
5	Enjeu de sécurité de l'information générée	4.1 Usages et gestion de l'information	Assurer la prise en compte des enjeux de sécurité de l'information
6	Gestion des délais	4.2 Rôles et Responsabilités	Assurer une gestion optimale des délais dus aux autres parties prenantes
7	Gestion optimale de l'information/ des documents	4.1 Usages et gestion de l'information	Développer les pratiques de gestion des données et de l'information
8	Intégration de toutes les équipes dans le processus BIM	1.1 Ressources humaines	Impliquer les individus affectés par l'initiative dans la démarche
9	Manipulation de fichiers volumineux	6.2 Technologies et outils	Assurer la disponibilité et la performance du matériel et du réseau informatique
10	Manipulation de fichiers volumineux	4.1 Usages et gestion de l'information	Développer les pratiques de gestion des données et de l'information
11	Qualification de la main d'œuvre	1.1 Ressources humaines	Développer l'expertise et les compétences des parties prenantes internes
12	Règlementations en vigueur qui peuvent être un frein	3.3 Contrats et légal	Prendre en considération les réglementations des corps de métier en vigueur
13	Résistance au changement	2.3 Accompagnement	Encadrer le changement des pratiques au sein du MTMD
14	Besoin de Documentation pour amorcer le virage	5.2 Guides	Mettre à disposition des références pertinentes pour guider la transition
15	Besoin de structure pour amorcer le virage	1.4 Gouvernance et coordination	Mettre en place une structure pour le déploiement du BIM

Tableau 4.7 Codage des données des projets en actions (suite)

N°	Données issues des projets	Catégories	Actions
16	Besoin de sensibilisation et de communication	2.1 Communications	Assurer une communication claire autour du BIM et de sa mise en œuvre
17	Besoins de communication massive sur ce qu'est le BIM dans les DT	2.1 Communications	Assurer une communication claire autour du BIM et de sa mise en œuvre
18	Formation adaptée des équipes	2.2 Formation	Offrir une formation ciblée selon les besoins techniques, opérationnels et de gestion
19	Nouveaux rôles pour la gestion BIM	4.2 Rôles et responsabilités	Adapter les rôles actuels au sein du MTMD au BIM, et en définir de nouveaux
20	Avoir des équipements plus performants	6.2 Technologies et outils	Assurer la disponibilité et la performance du matériel et du réseau informatique
21	Création de jumeau numérique	4.1 Usages et gestion de l'information	Étendre les applications du BIM au jumeau numérique
22	Inspections de terrain à l'aide des drones	6.2 Technologies et outils	Assurer la disponibilité des outils spécialisés (simulation, planification, drones, etc.)
23	Association BIM – GIS	6.1 Systèmes d'informations existants	Intégrer le BIM et le SIG
24	Utilisation des visuels 3D pour communication du projet	4.1 Usages et gestion de l'information	Définir clairement les usages de la maquette BIM
25	Réalisation de simulations environnementales à l'aide d'outils BIM intégrés	6.2 Technologies et outils	Assurer la disponibilité des outils spécialisés (simulation, planification, drones, etc.)
26	Réalisation de l'interpolation géotechnique à l'aide d'outils BIM intégrés	6.2 Technologies et outils	Assurer la disponibilité des outils spécialisés (simulation, planification, etc.)
27	Harmonisation des outils technologiques avec ceux déjà utilisés au MTMD	6.1 Systèmes d'informations existants	Harmoniser les systèmes existants du MTMD avec les outils BIM intégrer
28	Suivi de terrassement par relevés 3D aériens	6.2 Technologies et outils	Assurer la disponibilité des outils spécialisés (simulation, planification, drones, etc.)
29	Support pour la pérennisation de l'information de projet	4.1 Usages et Gestion de l'information	Assurer la pérennisation de l'information de projet
30	Intégration du MNT 3D au modèle de conception 3D	4.1 Usages et Gestion de l'information	Intégrer le MNT au modèle de conception 3D

Le Tableau 4.7 synthétise les actions de mise en œuvre découlant des enjeux, besoins, attentes et défis, réparties selon les axes de la Feuille de Route BIM Gouvernementale. Au total, 21 actions ont été identifiées.

Axe 1: Pilotage et Coordination

- Dans la catégorie "*Ressources humaines*," les actions émergentes sont l'implication des individus affectés par l'initiative dans la démarche et le développement de l'expertise et des compétences des parties prenantes internes.
- Dans la nouvelle catégorie "*Gouvernance et coordination du déploiement*," l'action identifiée est la mise en place d'une structure pour le déploiement du BIM.

Axe 2: Mobilisation, responsabilisation et montée en compétence des parties prenantes

- Sous la catégorie "*Communications*," l'action consiste à assurer une communication claire autour du BIM et de sa mise en œuvre.
- Pour la catégorie "*Formation*," l'action ciblée est d'offrir une formation adaptée aux besoins techniques, opérationnels et de gestion.
- Dans la catégorie "*Accompagnement*," l'action identifiée est d'encadrer le changement des pratiques au sein du MTMD.

Axe 3: Politiques, contrats et réglementation

- Dans la catégorie "*Contrats et légal*," l'action consiste à prendre en considération les réglementations des corps de métier en vigueur.

Axe 4: Usages et gestion de l'information

- Sous la catégorie "*Usages et gestion de l'information*," sept actions émergent : assurer la prise en compte des enjeux de sécurité de l'information, développer de nouvelles approches collaboratives, développer les pratiques de gestion des données et de l'information, étendre les applications du BIM au jumeau numérique, définir clairement les usages de la maquette BIM, assurer la pérennisation de l'information de projet, et intégrer le MNT au modèle de conception 3D.
- Dans la catégorie "*Rôles et Responsabilités*," les actions identifiées consistent à adapter les rôles actuels du MTMD au BIM et à définir de nouveaux, et à assurer une gestion optimale des délais dus aux autres parties prenantes.

Axe 5: Guides

- L'action émergeant de la catégorie "*Guides*" est de mettre à disposition du personnel des références pertinentes pour guider la transition.

Axe 6: Systèmes d'informations existants et Technologies et outils

- Dans la catégorie "*Systèmes d'informations existants*," deux actions émergent : intégrer le BIM et le SIG, et harmoniser les systèmes existants du MTMD avec les outils BIM intégrés.
- Dans la catégorie "*Technologies et outils*," deux actions émergent : assurer la disponibilité et la performance du matériel et du réseau informatique, et assurer la disponibilité des outils spécialisés (simulation, planification, drones, etc.).

Ces actions sont résumées dans le Tableau 4.6.

Tableau 4.6 Sommaire des actions proposées

N°	Axes	Catégories	Actions Projets
1	Axe 1	1.1 Ressources humaines	Impliquer les individus affectés par l'initiative dans la démarche
2	Axe 1	1.1 Ressources humaines	Développer l'expertise et les compétences des parties prenantes internes
3	Axe 1	1.4 Gouvernance et coordination	Adapter la structure du MTMD pour intégrer le BIM
4	Axe 2	2.1 Communications	Assurer une communication claire autour du BIM et de sa mise en œuvre
5	Axe 2	2.2 Formation	Offrir une formation ciblée selon les besoins techniques, opérationnels et de gestion
6	Axe 2	2.3 Accompagnement	Encadrer le changement des pratiques au sein du MTMD
7	Axe 3	3.3 Contrats et légal	Prendre en considération les réglementations des corps de métier en vigueur
8	Axe 4	4.1 Usages et gestion de l'information	Développer de nouvelles approches collaboratives soutenues par le BIM
9	Axe 4	4.1 Usages et gestion de l'information	Assurer la prise en compte des enjeux de sécurité de l'information
10	Axe 4	4.1 Usages et gestion de l'information	Développer les pratiques de gestion des données et de l'information
11	Axe 4	4.1 Usages et gestion de l'information	Étendre les applications du BIM au jumeau numérique
12	Axe 4	4.1 Usages et gestion de l'information	Définir clairement les usages de la maquette BIM
13	Axe 4	4.1 Usages et Gestion de l'information	Assurer la pérennisation de l'information de projet
14	Axe 4	4.1 Usages et Gestion de l'information	Intégrer le MNT au modèle de conception 3D
15	Axe 4	4.2 Rôles et Responsabilités	Assurer une gestion optimale des délais dus aux autres parties prenantes
16	Axe 4	4.2 Rôles et responsabilités	Adapter les rôles actuels au sein du MTMD au BIM, et en définir de nouveaux
17	Axe 5	5.2 Guides	Mettre à disposition des références pertinentes pour guider la transition
18	Axe 6	6.1 Systèmes d'informations existants	Intégrer le BIM et le SIG
19	Axe 6	6.1 Systèmes d'informations existants	Harmoniser les systèmes existants du MTMD avec les outils BIM intégrés
20	Axe 6	6.2 Technologies et outils	Assurer la disponibilité et la performance du matériel et du réseau informatique
21	Axe 6	6.2 Technologies et outils	Assurer la disponibilité des outils spécialisés (simulation, planification, drones, etc.)

Conclusion du Chapitre :

En résumé, ce chapitre a approfondi l'analyse des actions nécessaires à la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures de transport, en combinant l'étude des précédents et l'analyse des expériences concrètes sur le terrain. L'examen des feuilles de route internationales a permis d'identifier un grand nombre d'actions conformes au cadre de la feuille de route BIM du Gouvernement du Québec. Cependant, des actions hors cadre ont également émergé, conduisant à la création d'une nouvelle catégorie d'actions, "Gouvernance et déploiement de la mise en œuvre," dans l'axe 1.

Les résultats issus des projets ont été minutieusement analysés pour extraire des actions concrètes favorisant une mise en œuvre efficace du BIM dans les projets du MTMD. Notamment, la mise en place d'une structure adaptée au BIM a été identifiée comme une action essentielle, appartenant à la nouvelle catégorie établie.

En fournissant une base solide et pratique, ce chapitre a jeté les bases nécessaires pour l'élaboration de la feuille de route ministérielle. Il offre une vision claire des actions à entreprendre pour réussir la mise en œuvre du BIM dans les projets du MTMD, tout en veillant à l'alignement sur les orientations gouvernementales et les meilleures pratiques internationales.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

Cette étude représente une exploration approfondie des dynamiques associées à l'implémentation du BIM dans le contexte spécifique de la gestion et de la réalisation des projets d'infrastructures de transport. L'objectif central était de documenter de manière approfondie le processus d'intégration du BIM dans ces projets, avec un accent particulier sur les organismes publics responsables de leur gestion. Les sous-objectifs, axés sur l'étude des pratiques actuelles, l'identification des enjeux et la formulation d'actions stratégiques, ont été atteints grâce à une étude de cas approfondie centrée sur le MTMD.

Cette étude de cas a mis en lumière un processus clair pour initier la démarche d'intégration du BIM, comprenant notamment l'examen des précédents et l'identification des enjeux, attentes et besoins associés à l'adoption du BIM dans les projets. Dans ce chapitre, nous examinerons les implications et les limites de la recherche par rapport à la littérature existante et aux objectifs énoncés au début de l'étude.

5.1 Contexte et objectifs de la recherche

Cette recherche s'inscrit dans un contexte dynamique, marqué par l'initiative proactive du MTMD, visant l'intégration du BIM dans ses pratiques. En qualité d'acteur central de la transition numérique gouvernementale, le MTMD s'engage pleinement dans cette démarche, aligné sur la feuille de route gouvernementale pour la mise en œuvre du BIM. Dans cette optique, une collaboration avec le GRIDD a été établie, donnant naissance à un projet de recherche visant à élaborer un cadre de déploiement spécifique pour le BIM au sein du MTMD.

L'approche méthodologique privilégiée pour cette recherche a été une étude de cas approfondie, se concentrant sur le MTMD. Cette méthodologie a été choisie en raison du

manque d'études détaillées centrées sur les organismes de transport, identifié lors de la revue de littérature.

Les objectifs essentiels de cette étude comprenaient une analyse approfondie des pratiques actuelles en matière d'utilisation des technologies numériques dans les projets d'infrastructure de transport, ainsi que l'exploration des enjeux et des avantages liés à l'intégration du BIM. Un autre objectif majeur consistait à identifier les actions nécessaires pour intégrer efficacement le BIM dans les projets des organismes publics.

Trois activités clés ont été déployées tout au long de la recherche pour atteindre ces objectifs. La première activité impliquait une analyse de la littérature pour identifier des exemples concrets de mise en œuvre du BIM dans le contexte spécifique des infrastructures de transport. L'objectif était de cartographier les usages courants du BIM, les technologies numériques associées, ainsi que les enjeux et les avantages dans ce contexte spécifique. La deuxième activité portait sur l'analyse des feuilles de route gouvernementales d'organismes publics à travers le monde, visant à tirer des leçons des initiatives précédentes et à évaluer la pertinence des axes et catégories de la Feuille de Route BIM Gouvernementale, en vue de son adaptation au contexte du MTMD. Enfin, la troisième activité consistait à analyser les expériences pratiques au sein du Ministère, à travers des projets impliquant des technologies numériques ou des processus liés au BIM, dans le but d'obtenir une compréhension pratique de la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures de transport.

L'ensemble de ces activités a été mené à bien, et les résultats, discutés ci-dessous, ont été présentés.

5.2 Synthèse et discussion des principaux résultats

5.2.1 État des pratiques actuelles

L'alignement des usages du BIM identifiés lors des entretiens projets avec la littérature existante renforce la validité des résultats. Toutefois, la mention de l'usage de la maquette numérique pour la gestion de la circulation, bien que relevée dans les entretiens, apparaît moins

fréquemment dans la littérature. Ce point souligne la spécificité des besoins du MTMD dans le contexte des infrastructures de transport, introduisant un usage pertinent à considérer dans le contexte des infrastructures de transport.

Quant au niveau d'adoption du BIM, la faiblesse constatée dans les projets du MTMD, conjuguée à un écosystème numérique fragmenté et vétuste, confirme le caractère préliminaire de la démarche de mise en œuvre. Ces constats mettent en lumière la nécessité d'une communication et d'une sensibilisation renforcées pour stimuler l'adoption du BIM. De plus, la modernisation des systèmes informatiques, avec des outils intégrés et interopérables, est cruciale pour soutenir efficacement la mise en œuvre du BIM dans les projets du MTMD.

5.2.2 Dimensions de la mise en œuvre du BIM dans les projets

L'analyse des projets du MTMD à travers les prismes des dimensions identifiées dans la littérature - enjeux et défis, avantages, usages pour les projets d'infrastructures de transport - confirme la concordance entre les résultats obtenus et les tendances énoncées dans le corpus académique.

L'étude comparée des usages BIM entre les entretiens de projets au MTMD et la littérature révèle des similitudes. Les points communs incluent des pratiques telles que l'Acquisition de l'existant, la Modélisation 3D, la Coordination 3D, la Visualisation 3D, le BIM 4D, et la gestion des actifs (Baldwin, 2019 ; Chong et al., 2016 ; Pasetto et al., 2020 ; TOLMER et al., 2023). Quant au niveau d'adoption du BIM, la faiblesse constatée dans les projets du MTMD, conjuguée à un écosystème numérique fragmenté et vétuste, confirme le caractère préliminaire de la démarche de mise en œuvre. Ces constats mettent en lumière la nécessité d'une communication et d'une sensibilisation renforcées pour stimuler l'adoption du BIM. De plus, la modernisation des systèmes informatiques, avec des outils intégrés et interopérables, est cruciale pour soutenir efficacement la mise en œuvre du BIM dans les projets du MTMD.

Les principaux avantages identifiés comprennent l'amélioration notable de la collaboration entre les parties prenantes, une gestion plus efficace de l'information et des données de projet,

une visualisation accrue des projets, ainsi que des améliorations significatives dans la gestion des coûts. Par ailleurs, ces avantages s'alignent étroitement avec ceux documentés dans la littérature spécialisée (Bawono et al., 2021 ; Bensalah et al., 2019 ; Costin et al., 2018).

Les principaux défis identifiés sont la gestion optimale de l'information de projet, la collaboration effective entre toutes les parties prenantes, la résistance au changement, et les lacunes dans l'infrastructure informatique et logicielle. Surmonter ces obstacles nécessitera des solutions ciblées, telles que la formation, la communication accrue, et des améliorations de l'infrastructure (Costin et al., 2018 ; Gaur & Tawalare, 2022). Les défis identifiés s'alignent parfaitement avec ceux de la littérature notamment les disparités de niveau de maturité entre l'industrie et les donneurs d'ouvrage (Bensalah et al., 2018, 2019 ; Nuttens et al., 2018 ; Smith, 2014), la difficulté à disposer d'équipements informatiques adéquats (Bawono et al., 2021 ; Cepa et al., 2023). L'interopérabilité des systèmes qui est l'enjeu le plus répandu dans la littérature étudiée, n'a pas été directement adressée lors des entretiens. Mais le problème de fragmentation des systèmes d'informations a tout de même été évoqué. Ceci peut s'expliquer par le fait que le BIM est encore à un stade préliminaire, et que les équipes n'ont pas encore eu vraiment l'occasion de se confronter à ce problème.

Par ailleurs, l'étude de cas a permis d'identifier trois dimensions supplémentaires de la mise en œuvre du BIM à considérer : les opportunités pour le BIM, les attentes et les besoins de mise en œuvre pour les parties prenantes. Ces dimensions s'accordent avec les usages, avantages et enjeux relevés. Les opportunités pour le BIM ont émergé directement des entretiens de projets et ont été déduites des enjeux et défis rencontrés lors de la réalisation des projets de manière générale. Notamment, les opportunités pour le BIM, telles que la création de jumeaux numériques des actifs et l'optimisation de la phase d'exploitation et de maintenance, dénotent des perspectives stratégiques importantes. Ces opportunités reflètent une évolution vers des applications plus étendues du BIM, allant au-delà de la phase de conception et de construction, pour englober le cycle de vie complet des infrastructures.

5.2.3 Actions pour la mise en œuvre du BIM

Les actions identifiées pour la mise en œuvre du BIM dans les projets de transport et leur adéquation avec les actions des feuilles de route gouvernementales (Listées en Annexe 1) sont discutées ci-dessous.

- **Impliquer les individus affectés par l’initiative dans la démarche :** Cette action est liée à celle identifiée par l’analyse des feuilles de route, intitulée « Engager les parties prenantes dans le processus d’innovation ».
- **Développer l’expertise et les compétences des parties prenantes internes :** Cette action a également été couverte par l’analyse des feuilles de route, intitulée « Développer une expertise ».
- **Mise en place d’une structure de déploiement du BIM :** Cette action, classée dans la nouvelle catégorie créée par suite de l’analyse des feuilles de route, -1.4 Gouvernance et déploiement de la mise en œuvre-, n’est pas retrouvée parmi les actions issues des feuilles de route internationales.
- **Assurer une communication claire autour du BIM et de sa mise en œuvre :** Cette action est en adéquation avec un ensemble d’actions visant la communication autour du BIM identifiées dans les feuilles de routes internationales.
- **Offrir une formation ciblée selon les besoins techniques, opérationnels et de gestion :** Cette action a été relevée également parmi les actions issues des feuilles de route internationales : « Développer une formation ciblée ».
- **Encadrer le changement des pratiques au sein du MTMD :** Cette action, visant à atténuer et contrôler la résistance au changement identifiée comme enjeu majeur dans la mise en œuvre du BIM, correspond à l’action « Développer une stratégie de gestion du changement » identifiée parmi les feuilles de routes internationales.
- **Prendre en considération les réglementations des corps de métier en vigueur :** Cette action, peut être associée à l’action « Adapter la réglementation au BIM », relevée dans les feuilles de route.
- **Développer de nouvelles approches collaboratives soutenues par le BIM :** Le développement d’approches collaboratives renforce les relations entre les parties prenantes, améliorant ainsi l’efficacité des projets. Cette action n’est pas exactement

adressée dans les feuilles de route, mais se rapporte à l'ensemble des actions visant à améliorer les interactions entre les parties prenantes.

- **Assurer la prise en compte des enjeux de sécurité de l'information:** Des protocoles de sécurité robustes doivent être mis en place pour protéger les données sensibles liées aux projets. Cette action est en adéquation avec l'action « Assurer la sécurité des données et de l'information » identifiée dans les feuilles de route internationales.
- **Développer les pratiques de gestion des données et de l'information :** Cette action est adéquate avec les actions concernant la gestion de l'information de projet dans les feuilles de route internationales.
- **Étendre les applications du BIM au jumeau numérique :** Cette action est en adéquation avec l'action « Élargir la portée de la transformation numérique pour inclure les jumeaux numériques » identifiée parmi les feuilles de route internationales, dans la catégorie 3.1 Mandats et objectifs.
- **Définir clairement les usages de la maquette BIM :** Cette action a été adressée parmi les actions des feuilles de route internationales, dans la catégorie 4.1 Usages et gestion de l'information.
- **Assurer la pérennisation de l'information de projet :** Cette action n'est pas explicitement identifiée parmi les actions des feuilles de route internationales, mais couvre l'ensemble des actions relatives à la gestion optimale de l'information de projet.
- **Intégrer le MNT au modèle de conception 3D :** Cette action fait partie de la catégorie des usages de modèles. Elle concerne une application du BIM. Elle n'a pas été relevée spécifiquement dans les feuilles de route.
- **Assurer une gestion optimale des délais dus aux autres parties prenantes :** cette action liée aux processus, nécessite une attribution claire des rôles et responsabilités des différentes parties prenantes à un projet. Cette action n'a pas été spécifiquement adressée dans les feuilles de route internationales.
- **Adapter les rôles actuels au sein du MTMD au BIM, et en définir de nouveaux :** Adapter les rôles garantit une répartition claire des responsabilités. Cela évite les chevauchements et maximise l'efficacité opérationnelle. Cette action a été identifiée

dans les feuilles de route internationales, notamment dans la catégorie 4.2 Rôles et responsabilités.

- **Mettre à disposition des références pertinentes pour guider la transition :** Mettre à disposition des références facilite la transition. Le personnel peut se référer à des ressources fiables pour orienter leurs pratiques BIM. Cette action semble être spécifique au contexte du MTMD.
- **Intégrer le BIM et le SIG :** L'harmonisation des systèmes existants avec le BIM et les SIG assure une cohérence globale des informations, évitant les silos de données. Cette action est tout à fait représentée à travers les feuilles de route internationales.
- **Harmoniser les systèmes existants du MTMD avec les outils BIM intégrés :** Cette action semble être spécifique au contexte du MTMD, car n'est pas identifiée dans les feuilles de route internationales.
- **Assurer la disponibilité et la performance du matériel et du réseau informatique :** Cette action spécifique aux équipements informatiques ne semble pas avoir été couverte dans le champ d'actions identifiées.
- **Assurer la disponibilité des outils spécialisés :** Les outils de simulations, de planification, ou des drones par exemple sont utiles pour la réalisation des projets en BIM, et doivent donc être disponibles. Cette action rejoint l'ensemble des actions visant à développer des outils spécifiques dans la catégorie 6.2, Technologies et outils.

La comparaison entre les actions identifiées dans le cadre de cette étude et celles issues de l'analyse des feuilles de route internationales souligne une convergence significative. La plupart des actions se recoupent, renforçant ainsi leur pertinence et validité, et généralisabilité dans le contexte des organismes de transport. Cependant, cinq actions semblent spécifiques au MTMD, n'ayant pas été explicitement traitées dans les feuilles de route internationales. Ces actions distinctes comprennent la mise en place d'une structure de déploiement du BIM, l'intégration des MNT aux modèles de conception 3D, l'assurance d'une gestion optimale des délais liés aux demandes d'autorisations, la mise à disposition de références pertinentes pour la mise en œuvre du BIM, et l'harmonisation des systèmes existants du MTMD avec les outils BIM intégrés.

La synthèse des résultats révèle que les objectifs fixés ont été pleinement atteints au cours de l'étude de cas du MTMD. L'état actuel des pratiques au sein du ministère a été scrupuleusement examiné, les dimensions de la mise en œuvre du BIM dans le contexte des infrastructures de transport ont été clairement identifiées, et des actions spécifiques à entreprendre par les organismes de transport pour déployer le BIM dans les projets ont été formulées.

5.3 Limitations de la recherche

Cette étude présente certaines limitations qui méritent d'être soulignées pour une interprétation éclairée des résultats.

- Tout d'abord, la focalisation de la recherche sur le volet projets du MTMD peut restreindre la prise en compte des aspects organisationnels plus larges. Les implications organisationnelles de la transition numérique peuvent jouer un rôle crucial, mais elles ont plutôt été étudiées dans le cadre de l'Axe 1 du projet global de recherche.
- De plus, la collecte de données s'est principalement appuyée sur des entretiens et des analyses documentaires, introduisant potentiellement des biais liés à la subjectivité des répondants et à la disponibilité des documents. Bien que des efforts aient été déployés pour garantir la représentativité des parties prenantes, il subsiste un risque de ne pas avoir saisi tous les aspects pertinents de la mise en œuvre du BIM.
- Un autre point important à considérer est que, étant donné que le projet de transition numérique du MTMD est encore à un stade préliminaire, les actions proposées n'ont pas encore eu l'occasion d'être mises en œuvre et évaluées. Ainsi, il est nécessaire de reconnaître que l'évaluation de leur efficacité nécessitera un suivi dans le temps pour mesurer leur impact réel sur les projets et sur l'organisation dans son ensemble.
- Dans le même sens que le point précédent, la portée des conclusions est limitée par le fait de ne pas avoir une vision longitudinale, car le phénomène étudié est un processus

long dans le temps, or le temps d'une maîtrise (2 ans) n'est pas suffisant pour l'étudier sur le long terme.

- Une autre limitation de cette recherche se situe au niveau de la validité externe. Étant donné que les résultats sont spécifiques aux projets du MTMD, ils sont difficilement généralisables aux autres organismes de transport. Ceci limite la portée des résultats obtenus.
- Il est également important de noter que la recherche repose sur les connaissances et la situation au moment de la collecte des données, effectuée de manière discontinue, avec une coupure en décembre 2022. La nature évolutive rapide des technologies et des pratiques dans le domaine du BIM pourrait rendre certains résultats moins actuels au fil du temps.
- Enfin, les actions formulées à partir des données issues des projets découlent d'une interprétation de ces éléments. Ce qui suggère des biais potentiels liés à la subjectivité de l'analyse.

Ces limitations doivent être prises en compte lors de l'interprétation des résultats et soulignent la nécessité de mener des recherches futures pour approfondir ces aspects spécifiques et maintenir la pertinence des conclusions.

CONCLUSION

La présente étude s'est penchée sur la mise en œuvre du Building Information Modeling (BIM) dans le contexte des projets d'infrastructures de transport, en mettant particulièrement l'accent sur le ministère des Transports et du Développement Durable (MTMD). Les objectifs de cette recherche ont été atteints grâce à une analyse approfondie des pratiques actuelles, des dimensions de la mise en œuvre du BIM, et des actions nécessaires pour un déploiement réussi dans les projets du MTMD.

Les résultats ont mis en évidence une convergence entre les usages du BIM identifiés lors des entretiens projets au MTMD et ceux répertoriés dans la littérature spécialisée. Cependant, l'étude a également révélé des spécificités propres au contexte du MTMD, dont une faible adoption actuelle du BIM, une fragmentation de l'écosystème numérique, et des opportunités émergentes pour le BIM, notamment la création de jumeaux numériques des actifs.

Les actions identifiées pour la mise en œuvre du BIM ont été comparées avec les actions des feuilles de route internationales, montrant une grande cohérence et pertinence. Cependant, quelques actions spécifiques au MTMD ont été relevées, soulignant l'importance de prendre en compte les particularités organisationnelles et contextuelles dans le déploiement du BIM au sein des organismes de transport.

Malgré ces avancées, certaines limitations doivent être prises en considération. La focalisation principale sur le volet projet du MTMD pourrait restreindre la compréhension des aspects organisationnels plus larges. De plus, l'aspect préliminaire de cette étude suggère la nécessité d'une étude en continu, visant à évaluer l'efficacité des actions proposées pour la mise en œuvre du BIM dans le domaine des infrastructures de transport.

En résumé, cette étude fournit des insights précieux pour orienter le MTMD vers une mise en œuvre plus poussée et stratégique du BIM dans ses projets d'infrastructures de transport. Les actions proposées, adaptées au contexte spécifique, peuvent contribuer à l'élaboration de la

feuille de route ministérielle pour la mise en œuvre du BIM. Elles peuvent également améliorer l'efficacité des projets et saisir les opportunités futures offertes par cette technologie émergente. Concrètement, cette recherche contribue à générer une compréhension de l'état actuel des pratiques en matière de BIM au MTMD, comparativement à l'industrie, de mettre en lumière des éléments à considérer pour la mise en œuvre du BIM, à savoir les enjeux / défis, opportunités, attentes et besoins et de proposer 21 actions spécifiques pour la mise en œuvre du BIM dans les projets d'infrastructures de transport au MTMD.

Afin de consolider les résultats obtenus dans cette recherche et d'élargir leur portée, des recherches futures pourraient :

- Analyser l'impact de l'intégration du BIM avec des technologies telles que LiDAR, les SIG, déjà bien implantés dans les pratiques au sein MTMD.
- Effectuer une étude longitudinale pour évaluer l'efficacité des actions proposées et leurs impacts à long terme sur les projets;
- Faire une étude comparative des démarches de mise en œuvre du BIM dans les projets de transport en vue de ressortir les facteurs clés de succès et les meilleures pratiques

ANNEXE I

LISTE DES ACTIONS ISSUES DE L'ANALYSE DES FEUILLES DE ROUTE

1. Axe 1 : Pilotage et Coordination

1.1 Ressources humaines :

- Développer les critères d'évaluation pour les employés
- Développer une expertise
- Habilitier les experts pour les travaux de développement et de normalisation
- Mettre en place des ressources pour gérer les données massives
- Mettre en place un groupe de pilotage
- Mettre en place une équipe de mise en œuvre

1.2 Partenariats et communauté :

- Collaborer avec l'industrie
- Collaborer avec le milieu académique
- Collaborer avec les instances nationales et internationales
- Coordonner les activités de développement avec les instances pertinentes
- Développer les directives, spécifications et capacités particulières
- Développer les partenariats nécessaires pour soutenir la mise en œuvre
- Faire rayonner l'initiative à l'internationale
- Habilitier les experts pour les travaux de développement et de normalisation
- Mettre en place un groupe de pilotage
- Mettre en place un incubateur
- Participer aux travaux de normalisation

1.3 Mesure et suivi de la performance :

- Assurer l'amélioration continue de l'initiative
- Développer des outils de suivi de la feuille de route

1.4 Gouvernance et coordination du déploiement :

- Assurer le financement adéquat de l'initiative
- Coordonner les activités de développement avec les instances pertinentes
- Développer les pratiques de gestion de risque
- Faciliter le déploiement dans les secteurs associés
- Mener des projets pilotes
- Planifier les actions d'implantation
- Adapter la mise en œuvre de la feuille de route au contexte

2. Axe 2 : Mobilisation, responsabilisation et montée en compétence des parties prenantes

2.1 Communications:

- Cibler la communication
- Collaborer avec les instances nationales et internationales
- Communiquer les résultats des travaux de normalisation
- Engager les parties prenantes dans le processus d'innovation
- Mettre en place une plateforme de communication
- Mettre en place une stratégie de communication
- Communiquer pour assurer l'adoption des normes soutenant l'interopérabilité et la pérennité des données
- Communiquer les réussites des approches collaboratives

2.2 Formation:

- Développer une expertise
- Développer une formation ciblée
- Développer une plateforme de gestion des compétences
- Faire évoluer la formation
- Former & certifier la main d'œuvre
- Fournir des ressources pour la formation
- Mettre en place un programme de formation
- Soutenir le milieu académique

- Développer des comportements et connaissances pour créer des environnements propices à l'exécution de projets

2.3 Accompagnement:

- Accompagner la transition numérique
- Appuyer la transformation des modèles d'affaires avec le numérique
- Assurer le développement des compétences
- Développer les procédures de mise en service d'actifs et de transfert de données et d'information pour la phase d'opérations
- Développer un environnement propice à l'exécution de projet
- Développer une stratégie de gestion du changement
- Soutenir l'industrie dans le développement des normes techniques

3. Axe 3 : Politiques, contrats et réglementation

3.1 Mandats et objectifs:

- Collaborer avec les autres instances gouvernementales
- Déployer un cadre réglementaire propice et facilitant la mise en œuvre du BIM
- Élargir la portée de la transformation numérique pour inclure les jumeaux numériques
- Fournir des orientations et des exigences BIM adaptées

3.2 Approvisionnement:

- Adapter les modes d'approvisionnement / de réalisation
- Développer des critères de sélection des équipes dans le cadre de projets BIM
- Développer de nouveaux montages commerciaux pour la réalisation et l'exploitation
- Développer les critères d'évaluation pour le choix des fournisseurs de service
- Développer les pratiques de gestion des actifs supportés par le BIM
- Développer/adapter les documents contractuels nécessaires pour aligner avec les normes en vigueur
- Établir les critères de sélection des projets pour la mise en œuvre du BIM
- Réviser les structures d'honoraires professionnelles selon la prestation de service
- Revoir les structures de rémunération et les incitatifs liés à la mise en œuvre du BIM

- Transformer les approches contractuelles pour une approche orientée données et basée sur la performance
- Transitionner vers le financement intégré des projets et des initiatives

3.3 Contrats et légal :

- Accompagner dans la mise en œuvre du contrat type BIM
- Adapter la réglementation au BIM
- Développer et mettre en œuvre de nouveaux modèles d'assurance intégrés
- Développer les pratiques en lien avec l'utilisation de données de grande diffusion, y compris les risques et la sécurité
- Développer les technologies en lien avec les contrats
- Développer les technologies en lien avec les contrats intelligents
- Développer un modèle de contrat pour le BIM
- Évaluer les besoins en rémunération pour la réalisation soutenue par le BIM
- Intégrer la sécurité des données aux contrats et assurances
- Traiter de la propriété intellectuelle dans les contrats pour le BIM
- Traiter les droits d'auteur et les licences d'utilisation dans le contexte du BIM
- Transformer les approches contractuelles pour une approche orientée données et basée sur la performance

4. Axe 4 : Processus, méthodes et flux de travail

4.1 Usages et gestion de l'information:

- Assurer la fiabilité des échanges de données
- Assurer la sécurité des données et de l'information
- Cibler les usages du BIM pertinents
- Définir des exigences sur les informations normalisées en fonction des jalons de projets
- Définir les processus et protocoles de validation en fonction des exigences d'information
- Développer les usages du BIM pour soutenir la documentation
- Développer des cadres et outils pour la gestion des travaux/projets

- Développer des mécanismes de liaison des sources de données : devis et modèles
- Développer des nouveaux montages commerciaux pour la réalisation et l'exploitation
- Développer des outils et technologies d'approbation/validation numérique (e-permitting)
- Développer des outils et technologies de gestion/planification - estimation
- Développer des plateformes de définition des besoins techniques
- Développer des pratiques/processus de gestion de l'information
- Développer des usages de modèles normalisés : planification et définition des exigences
- Développer des usages du BIM aidant à la prise de décision
- Développer les capacités de stockage et de traitement des données
- Développer les pratiques de gestion de la qualité
- Développer les pratiques de gestion de projets BIM
- Développer les pratiques de gestion de risque en lien avec l'utilisation du BIM
- Développer les pratiques de production automatisée pour soutenir la construction hors-site
- Développer les pratiques et outils pour l'inspection du bâtiment à l'aide du BIM
- Développer les procédures de contrôle qualité.
- Développer les procédures d'échange d'information en fonction des usages de modèle :
- Développer les usages de l'information pour la mesure de l'empreinte écologique
- Développer les usages du BIM pour soutenir le développement durable
- Développer les usages du BIM pour soutenir le développement durable – résilience
- Développer une stratégie géospatiale
- Intégrer les notions de Lean dans l'effort de transformation numérique
- Optimiser le flux de travail BIM en définissant géométries et attributs nécessaires à chaque étape
- Transformer les pratiques de gestion de projet
- Transformer les pratiques de gestion de projet - pratiques Lean
- Utiliser le BIM pour effectuer la revue de conception

4.2 Rôles et responsabilités:

- Définir les rôles et responsabilités
- Développer les pratiques de gestion de projets BIM
- Développer les rôles spécifiques en lien avec la mise en œuvre du BIM
- Développer une stratégie de gestion du changement

4.3 Composantes de modèles:

- Appuyer les calculs de quantité et la gestion de l'avancement des travaux
- Créer des normes de modélisation de données
- Créer des spécifications 3D, iTWO, etc.
- Développer des bibliothèques d'objets OTL
- Développer des outils et technologies de gestion/planification - estimation
- Développer les usages du BIM pour soutenir le développement durable
- Développer une stratégie d'aperçu des produits
- Établir les partenariats avec les manufacturiers de produits
- Finaliser les processus de définition de modèles
- Identifier les données et standardiser les méthodes d'entrée
- Intégrer le géoréférencement ferroviaire
- Lier les bibliothèques d'objets aux exigences et performances attendues
- Optimiser l'accès à des bibliothèques d'objets externes et internes
- Viser la construction modulaire, 3D et hors site

5. Axe 5 : Documentation et normalisation

5.1 Exigences:

- Améliorer la communication entre les parties prenantes le long du cycle de vie des projets de construction
- Automatiser l'échange d'informations et de données
- Définir les protocoles de cybersécurité et de protection des données
- Développer des exigences globales et par types de projets / activités
- Développer des protocoles de modélisation

- Développer et centraliser une base de données portant sur les usages de modèles
- Développer les bibliothèques d'objets BIM
- Développer les procédures d'échange d'information en fonction des usages de modèle
- Développer les usages du BIM pour soutenir le transfert de l'information entre la construction et l'exploitation
- Développer un catalogue d'exigences d'information
- Développer un modèle et outil pour l'EIR (Employer's Information Requirements)

5.2 Guides:

- Définir les protocoles de cybersécurité et de protection des données
- Développer des méthodes de gestion des coûts soutenus par le BIM
- Développer des modèles de plans d'exécution BIM (BEP)
- Développer les directives, spécifications et capacités particulières pour soutenir l'implantation du BIM (BEP, nomenclatures, etc.)
- Développer un modèle de contrat pour le BIM
- Finaliser les travaux de normalisation en cours
- Livrer un dictionnaire et un cadre et méthodes d'ontologie
- Recommander l'application de la méthode BIM selon les activités des projets

5.3 Normes :

- Adapter les normes internationales aux usages du secteur du bâtiment
- Définir des normes adaptées à l'Internet des objets
- Définir les protocoles de cybersécurité et de protection des données
- Développer des standards
- Développer les capacités d'échange de données et de communications interopérables (IFC & BCF)
- Développer les normes d'échange de données
- Élaborer des codes et normes techniques
- Établir un système de classification adapté
- Normer les propriétés des produits du bâtiment
- Optimiser l'accès à des bibliothèques d'objets externes et internes
- Rendre cohérentes les normes internationales et nationales

- Standardiser les formats de données
- Participer et adopter la normalisation internationale
- Assurer l'arrimage et la cohérence des normes

6. Axe 6 : Écosystème numérique

6.1 Systèmes d'information existants:

- **Coordonner les activités de développement avec les instances pertinentes -
Intégration BIM-SIG**
- **Développer les méthodes d'échange et de publication des données**
- **Faciliter l'intégration des données BIM-SIG**

6.2 Technologies et outils:

- Améliorer l'interopérabilité des systèmes
- Développer une plateforme d'achat d'outils
- Développer des outils et technologies d'analyse
- Développer des outils et technologies d'approbation/validation numérique
- Développer des outils et technologies d'intégration/liaison
- Développer des outils et technologies de communication
- Développer des outils et technologies de coordination
- Développer des outils et technologies de gestion/planification
- Développer des outils et technologies de modélisation
- Développer des outils et technologies de signature numérique des données
- Développer des outils et technologies de visualisation
- Développer des outils et technologies pour faciliter la mise en œuvre
- Développer des outils et technologies pour la livraison des modèles
- Développer des solutions EDC (Environnement de Données Commun) multi-projets
- Développer les capacités d'analyses avancées basées sur le BIM
- Développer les capacités d'arpentage électronique
- Développer les capacités d'automatisation de la construction

- Développer les capacités d'échange de données et de communications interopérables (IFC & BCF)
- Développer les capacités de capture de réalité en temps réel pour la gestion de projet
- Développer une stratégie de gestion du changement
- Système d'évaluation des technologies

6.3 Systèmes d'information collaboratifs:

- Améliorer l'interopérabilité des systèmes
- Développer des outils et technologies d'analyse
- Développer des outils et technologies d'intégration/liaison
- Développer des outils et technologies de coordination
- Développer des outils et technologies de gestion/planification
- Développer des outils et technologies de visualisation et de suivi
- Développer des plateformes de définition des besoins techniques
- Développer des solutions EDC multi-projets
- Développer les capacités BIM sur le site
- Développer les capacités d'échange de données et de communications interopérables (IFC & BCF)
- Développer les capacités info-nuagiques
- Développer les procédures d'échange d'information en fonction des usages de modèle
- Développer une architecture système intégrative
- Intégration des "villes intelligentes" et du BIM
- Mise en œuvre d'interfaces standardisées
- Outil de planification et d'analyse réglementaire (e-permitting)

ANNEXE II

CANEVAS DES ENTRETIENS PROJETS

Études de cas pour informer le développement de la Feuille de route BIM ministérielle : entretiens préparatoires semi-dirigés

Contexte

Dans le cadre du développement de la feuille de route ministérielle avec l'objectif d'adopter et d'implanter le BIM au sein du Ministère, l'équipe de recherche GRIDD-ÉTS désire comprendre et capter les expériences et faits vécus sur le terrain liés à la mise en œuvre du BIM dans les projets. La mise en œuvre du BIM dans un projet renvoie à l'utilisation d'une ou plusieurs des pratiques suivantes :

- Développement d'une ou de plusieurs maquettes 3D;
- Utilisation du relevé par balayage laser comme intrant à la conception;
- Utilisation d'une ou de plusieurs maquettes 3D afin d'aider à la conception et coordination;
- Utilisation d'une ou de plusieurs maquettes 3D afin d'aider à l'analyse et la simulation;
- Échange de données de projet selon des formats ouverts (ex : IFC, CityGML, gbXML);
- Utilisation de plateforme(s) de collaboration permettant de centraliser les données de projet.

Pour ce faire, les individus œuvrant dans les projets ciblés par le MTMD comme pilote ou étude de cas seront invités à participer à différentes activités de collectes de données, dont des entrevues, des séances de travail et des sondages dans le but de discuter:

1. Des attentes et orientations en matière d'implantation du BIM sur les projets
2. Des défis attendus ou vécus dans la mise en œuvre
3. Des leviers et des ressources nécessaires pour supporter la mise en œuvre du BIM dans les projets
4. Des retours d'expérience générales en matière de mise en œuvre du BIM sur les projets au MTQ.

L'objectif de ces activités est d'évaluer les politiques, les processus, les pratiques et le contexte général de la mise-en-œuvre des pratiques soutenant la planification, la conception, la réalisation et l'exploitation des actifs bâtis facilités par le BIM dans le cadre des projets du MTQ.

Par conséquent, pour aider le groupe de recherche à entamer le processus de collecte de données en lien avec les études de cas, vous êtes invité à un entretien. Les questions suivantes feront l'objet de cet entretien:

1. Pouvez-vous nous décrire le projet, ses enjeux et défis?
2. Pouvez-vous nous décrire, au mieux de vos connaissances, comment le BIM a été ou sera mis en œuvre dans ce projet?
3. Quelles sont ou quelles étaient vos attentes par rapport à la mise en œuvre du BIM dans ce projet? Ont-elles été rencontrées?
4. Dans le cadre de cet axe du projet de recherche, nous cherchons à rencontrer les membres de l'équipe impliqués et/ou impactés par la mise en œuvre du BIM. Selon vous, quels membres sont impactés et comment?

Ces questions seront discutées lors d'un entretien d'une heure qui se déroulera à distance.

Si vous avez des commentaires ou des questions, n'hésitez pas à communiquer avec Érik Poirier, le directeur de la recherche.

En vous remerciant à l'avance de votre collaboration.

ANNEXE III

TABLEAU COMPARATIF DES PROJETS

Tableau-A III-1 Tableau comparatif des projets N°1 à 5

	1	2	3	4	5
Date de l'entrevue	05/12/2022	06/12/2022	19/12/2022	22/12/2022	12/05/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Portique (Structure P-13836)	Hangar aéroport de Québec	Reconstruction du pont de l'île aux tourtes	Centre de Service Foster	Structure P-08044, Pont Camille-Parenteau
Numéro :	154200206	525915			
Localisation :	Stoneham-et-Tewkesbury	Ville de Québec, Québec	Entre Montréal et Montérégie	Shefford, Estrie	Yamaska, Montérégie
Type de projet :	Pont routier	Infrastructure aéroportuaire	Pont routier	Bâtiment	Pont routier
Description :	Pont à dalle pleine en béton armé, sans armature de cisaillement	Agrandissement du hangar existant	Construction d'un nouveau pont au nord du pont actuel	Construction de nouveaux bâtiments Projet géré par la SQI	
Identification des interviewés					
Nombre	2	1	1	1	
Fonctions	Ingénieurs		Ingénieure	Ingénieur	
Titres	- Chargé d'activité - Chargé de la Conception	Chargé de projet	Responsable Suivi du volet BIM (Chargée qualité, audit technique, structure)	Chargé de projet	
Déjà entendu parler du BIM?	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Données de projet					
Linéaire:	≈19,5 m	S/O	2 km	1900 m ²	309,7 m
Statut:	Avant-projets préliminaire définitif	Étude d'opportunité	Planification (au moment de l'entrevue)	En Planification	En étude (AOP passé en oct. 2023)
Date de début :	été 2024 (travaux)	À déterminer	avr-24	Pas encore déterminée	Pas encore déterminée
Date de fin :	?	À déterminer	2030	2025	Pas encore déterminée
Budget total :	3,2 M\$	À déterminer	2,3 G\$	36 M\$	À définir
Budget total :	< 5M\$	À déterminer	> 100 M\$]5M\$; 100M\$]	À définir
Type de contrat :	Mode traditionnel: conception-soumission-construction	À déterminer	Mode alternatif: Conception-Construction-Financement	Traditionnel	Traditionnel (Appel d'offre Public)
Autre, spécifiez :					

Tableau-A II-1 Tableau comparatif des projets N°1 à 5 (suite)

	1	2	3	4	5
Date de l'entrevue	05/12/2022	06/12/2022	19/12/2022	22/12/2022	12/05/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Portique (Structure P-13836)	Hangar aéroport de Québec	Reconstruction du pont de l'île aux tourtes	Centre de Service Foster	Structure P-08044, Pont Camille-Parenteau
Équipe de projet					
Équipe interne du Ministère	Équipe de structure : conception	SQI: Propriétaire du projet, gestionnaire	Équipe de 4 personnes		
	Équipe hydraulique	Équipes du MTMD: validation des besoins	Ingénieur, chargé de projet ingénierie, suivi du volet BIM		
	Équipe géotechnique		Équipe drainage, systèmes électriques		
Partenaires externes			Dragados Canada inc., Roxboro Excavation inc., et Construction Demathieu & Bard (CDB) inc.		
Contexte de mise en œuvre		Pas encore défini			
Exigences BIM dans l'appel d'offre	?		Oui	?	?
Si oui, précisez :					
Exigences BIM au contrat	?		Oui	?	?
Si oui, précisez :					
Utilisation de normes en vigueur	?		Oui	?	?
Si oui, précisez :			ISO 29481, BCF		
Évaluation de la capacité des membres de l'équipe	?		Oui	?	?
Si oui, précisez :			Ressources spécialisées		
Plan d'exécution BIM	?		?	?	?
Si oui, précisez :					
Plans de livraison de l'information	?		?	?	?
Si oui, précisez :					
Matrice de responsabilités	?		?	?	?
Si oui, précisez :					
Autres ressources :			Oui		
Si oui, précisez :			Outils numériques certifiés IFC-buildingSmart International		

Tableau-A II-1 Tableau comparatif des projets N°1 à 5 (suite)

	1	2	3	4	5
Date de l'entrevue	05/12/2022	06/12/2022	19/12/2022	22/12/2022	12/05/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Portique (Structure P-13836)	Hangar aéroport de Québec	Reconstruction du pont de l'île aux tourtes	Centre de Service Foster	Structure P-08044, Pont Camille-Parenteau
Applications/ Usages BIM					
Usage 01					
Relevé l'existant	Oui		Oui	Non	Oui
Si oui, préciser:	- Relevés d'arpentage		- Relevés d'arpentage		
Outils/Technologies utilisés	LiDAR		LiDAR		LiDAR routier
Usage 02					
Modèle numérique de terrain	Oui		Oui	Non	?
Si oui, préciser:	Intrant pour la conception		Créé à l'aide des relevés LiDAR		
Outils/Technologies utilisés	?		?		?
Usage 03					
Analyses (environnementales, hydrauliques, géotechniques, structurales, etc...)	Oui		?	Non	?
Si oui, préciser:	Simulations enjeux environnementaux, analyse hydraulique et géotech prévue				
Outils/Technologies utilisés	?		Pas encore définis		?
Usage 04					
Modélisation numérique (2D, 3D, 4D, ou 5D)	Oui		Oui	Oui	Oui
Si oui, préciser:	Modélisation 3D, 4D		3D et 4D, extraction de plans 2D	Modélisation 3D	Modélisation 3D
Outils/Technologies utilisés	?		Pas encore définis	Pas encore définis	?
Usage 05					
Détection et gestion des interférences	Non		Oui	Oui	?
Si oui, préciser:			Rapports d'interférences attendus		
Usage 06					
Visualisation 3D	Oui		Oui	Oui	?
Usage 07					
Plateforme de communication / collaboration / Coordination	Oui		Oui	Oui	?
Si oui, préciser:			Communication / Coordination BIM		
Outils/Technologies utilisés	?		BIM Track	?	?
Usage 08					
Gestion des documents/ de l'information cycle de vie	Oui		?	?	?
Si oui, préciser:	Plateforme BIM				

Tableau-A II-1 Tableau comparatif des projets N°1 à 5 (suite)

	1	2	3	4	5	
Date de l'entrevue	05/12/2022	06/12/2022	19/12/2022	22/12/2022	12/05/2023	
Identification du projet						
Nom du projet :	Portique (Structure P-13836)	Hangar aéroport de Québec	Reconstruction du pont de l'île aux tourtes	Centre de Service Foster	Structure P-08044, Pont Camille-Parenteau	
Applications/ Usages BIM						
Usage 09						
Modèle tel que construit	Prévu		Oui	?	?	
Usage 10						
Exploitation et gestion des actifs	Prévu		Prévu	Prévu	Prévu	
Outils/Technologies utilisés	?		?			
Livrables numériques						
Livrables numériques	Oui			Oui	Oui	Oui
Si oui, préciser lesquels	- Modèle 3D		- Modèle 3D évolutif	?	?	
Enjeux et défis du projet						
	Résistance au changement	Compréhension des besoins		Respect des délais et des coûts	Capacité de l'industrie	
	Performance insuffisante des équipements	Risques au niveau des opérations, et budgétaire		Transition entre les processus actuels et les processus BIM		
Opportunités pour le BIM						
	Création d'un jumeau numérique	Tirer des leçons de la gestion BIM de la SQI	Intégrer le processus BIM au processus de certification PCA et tirer des leçons;	Opportunité pour le déploiement de l'approche BIM- PCI	Réalisation d'un jumeau numérique (pont instrumenté)	
	Inspections de terrain à l'aide de drones		Apprendre des pratiques BIM de l'Entrepreneur;	Opportunité d'explorer les méthodes BIM de la SQI	Optimisation des phases d'exploitation et maintenance	
			Mesurer l'impact du BIM sur la qualité du projet;			
Avantages						
	Meilleure compréhension du projet			Stabilisation des coûts et de l'échéancier		
	Économies de temps et des coûts			Compréhension du projet par les utilisateurs finaux		
	Contrôle des coûts et échéanciers					
	Gestion des modifications améliorée					
	Demandes d'autorisations facilitées					

Tableau-A III-2 Tableau comparatif des projets N°6 à 10

	6	7	8	9	10
Date de l'entrevue	08/08/2023		11/08/2023	11/08/2023	11/08/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Reconstruction du Pont Gédéon-Ouimet	Aménagement de voies réservées sur l'autoroute 15	Prolongement de la route 138	Parachèvement Autoroute 35 Phases III	Parachèvement Autoroute 35 Phases IV
Numéro :	154071398	154100992	154160257	154130897	154141189
Localisation :	Entre Laval et Boisbriand	Entre Laval et Boisbriand	Entre Kegaska et Vieux-Fort, Québec	Entre Saint-Sébastien et Saint-Armand	Entre Saint-Armand et la frontière américaine
Type de projet :	Pont routier	Route	Route	Route	Route
Description :	Reconstruction de pont	Aménagements de voies réservées, réfection de chaussée			
Identification des interviewés					
Nombre	1		1	1	
Fonctions					
Titres	Gérant de projet		Chargée de projet	Chargée de projet adjointe, chargée de la surveillance	
Déjà entendu parler du BIM?	Oui		Oui	Oui	
Données de projet					
Linéaire:	≈1 km	?	≥ 80 km	≈ 8,9 km	≈ 4,5 km
Statut:	En cours (PC 3: avant-projet définitif)	PC 4: Préparation des Plans et devis et libération des emprises	2 tronçons en réalisation et 2 en Étude d'opportunité	Réalisation	En Planification: Conception - APD
Date de début :	Travaux préparatoires prévus en 2026	2024 (pour lot 1)	Travaux depuis 2021 (Tronçon 1)	2020	À définir
Date de fin :	2031 (prévision)				À définir
Budget total :	≥100M\$	≥ 100 M\$	695,5 M\$ pour les 2 tronçons en réalisation	222,9 M\$	< 100M\$
Budget total :	> 100 M\$	> 100 M\$	> 100 M\$	> 100 M\$	[5M\$; 100M\$]
Type de contrat :	Contrat forfaitaire à enveloppe maximale	Contrat forfaitaire à enveloppe maximale	Gré-à-gré + appel d'offres public		
Autre, spécifiez :					
Équipe de projet					
Équipe interne du Ministère	9 à 10 personnes	9 à 10 personnes	Équipe de gestion de projet		
	Gérant de projet	Gérant de projet	Équipe géotechnique		
	Équipe technique: validation, commentaires	Équipe technique: validation, commentaires			
	Équipe de suivi: Gestion	Équipe de suivi: Gestion			
Partenaires externes	CIMA/STANTEC/WS P	CIMA/STANTEC/WS P	Norda-Stello, Englobe, Tétratec, FNX-innov...	Consortium: WSP/SNC-Lavalin	Consortium: WSP/CIMA

Tableau-A II-2 Tableau comparatif des projets N°6 à 10 (suite)

	6	7	8	9	10
Date de l'entrevue	08/08/2023		11/08/2023	11/08/2023	11/08/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Reconstruction du Pont Gédéon-Ouimet	Aménagement de voies réservées sur l'autoroute 15	Prolongement de la route 138	Parachèvement Autoroute 35 Phases III	Parachèvement Autoroute 35 Phases IV
Contexte de mise en œuvre					
Exigences BIM dans l'appel d'offre	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Exigences BIM au contrat	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Utilisation de normes en vigueur	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
Si oui, précisez :					
Évaluation de la capacité des membres de l'équipe	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Plan d'exécution BIM	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Plans de livraison de l'information	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Matrice de responsabilités	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Autres ressources :	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Applications/ Usages BIM					
Usage 01					
Relevé l'existant	?	?	Oui		
Si oui, précisez:			Sur le 4e tronçon		
Outils/Technologies utilisés					
Usage 02					
Modèle numérique de terrain	?	?	Oui		
Si oui, préciser:			Créé à l'aide des relevés LiDAR		
Outils/Technologies utilisés			LiDAR		
Usage 03					
Analyses (environnementales, hydrauliques, géotechniques, structurales, etc...)	?	?	Analyses Géotech?	Oui	Oui
Si oui, préciser:				Simulations environnementales 3D par le mandataire	Simulations environnementales 3D par le mandataire
Outils/Technologies utilisés					

Tableau-A II-2 Tableau comparatif des projets N°6 à 10 (suite)

	6	7	8	9	10
Date de l'entrevue	08/08/2023		11/08/2023	11/08/2023	11/08/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Reconstruction du Pont Gédéon-Ouimet	Aménagement de voies réservées sur l'autoroute 15	Prolongement de la route 138	Parachèvement Autoroute 35 Phases III	Parachèvement Autoroute 35 Phases IV
Applications/ Usages BIM					
Usage 04					
Modélisation numérique (2D, 3D, 4D, ou 5D)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Si oui, préciser:	Modèle 3D créé par le mandataire et non partagé au MTMD	Modèle 3D créé par le mandataire et non partagé au MTMD	Modèle 3D créé par le mandataire et non partagé au MTMD	Modélisation 3D par le mandataire et partagée au MTMD	Modélisation 3D par le mandataire
Outils/Technologies utilisés	?	?	?	Civil 3D	?
Usage 05					
Détection et gestion des interférences	Non	Non	Non		Non
Si oui, préciser:					
Usage 06					
Visualisation 3D	Oui	Oui	Non	Non (2D uniquement)	Non
Usage 07					
Plateforme de communication / collaboration / Coordination	Non	Non	Non	Oui	Non
Si oui, préciser:				CDE implanté par l'Entrepreneur, utilisé par l'équipe MTMD	
Outils/Technologies utilisés	?	?	?	?	
Usage 08					
Gestion des documents/ de l'information cycle de vie	Non	Non	Non	Non	?
Si oui, préciser:	Plateforme de gestion documentaire à l'interne (GID)	Gestion documentaire à l'interne (GID)	Gestion documentaire à l'interne (GID)	Gestion documentaire à l'interne (GID)	
Usage 09					
Modèle tel que construit	Non (livrables 2D, pdf)	Non (livrables 2D, pdf)	Non	Non	Non
Usage 10					
Exploitation et gestion des actifs	Non	Non	Non	Non	Non
Outils/Technologies utilisés					
Livrables numériques					
Livrables numériques	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Si oui, préciser lesquels	Fichiers natifs 2D	Fichiers natifs 2D	Fichiers natifs 2D	Fichiers natifs 2D	Fichiers natifs 2D

Tableau-A II-2 Tableau comparatif des projets N°6 à 10 (suite)

	6	7	8	9	10
Date de l'entrevue	08/08/2023		11/08/2023	11/08/2023	11/08/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Reconstruction du Pont Gédéon-Ouimet	Aménagement de voies réservées sur l'autoroute 15	Prolongement de la route 138	Parachèvement Autoroute 35 Phases III	Parachèvement Autoroute 35 Phases IV
Enjeux et défis du projet					
	Gestion des commentaires	Gestion des commentaires	Interactions avec les communautés locales	Contraintes environnementales	
	Communication claire entre Mandataire et MTMD	Communication claire entre Mandataire et MTMD	Éloignement et enclavement du site de construction	Différence de niveau technologique entre industrie et MTMD	
	Gestion de l'information générée	Gestion de l'information générée	Coûts énormes pour les études géotechniques	Difficultés de visualisation du projet	
	Délais d'approbation (validation) longs	Délais d'approbation (validation)	Modifications de conception entraînant des coûts	Interactions avec les parties externes	
			Analyse des risques d'éboulement ou de glissement de terrain	Gestion documentaire (système d'informations fragmenté)	
Opportunités pour le BIM					
	Création d'un jumeau numérique (pont instrumenté)	Association BIM-GIS	Utilisation des relevés LiDAR pour la création du MNT	Centralisation de l'information de projet	
			Intégration du BIM pour les tronçons encore à l'étude	Exigence de livrables 3D pour la phase IV, pour faciliter l'exploitation	
Avantages					
	Amélioration de la communication entre les PP	Amélioration de la communication entre les PP	Facilité d'acquisition de l'existant	Faciliter la centralisation de l'information de projet	
				Meilleure visualisation du projet	

Tableau-A III-3 Tableau comparatif des projets N°11 à 15

	11	12	13	14	15
Date de l'entrevue	- 16/08/2023 - 24/10/2023	21/09/2023	28/09/2023	16/10/2023	17/10/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Réfection du tunnel Louis-Hyppolite-Lafontaine	Route 247- Conservation de chaussées	Stabilisation de talus- Route Gérin	Éclairage de la route 267	Protection d'un ouvrage contre l'érosion - route 199
Numéro :	154150935	154071440	154110399	154171590	154200874
Localisation :	Montréal, Québec	De Fitch Bay à Georgeville, Estrie	Saint-Justin, Mauricie	Inverness, Centre-du-Québec	Pointes-aux-Loups, Îles-de-la-Madeleine
Type de projet :	Tunnel routier	Route	Route	Route	Route
Description :	Pont-tunnel; Travaux de réfection des murs, plafonds et chaussée, drainage, murs d'approches	Conservation de chaussée, Travaux d'asphaltage, "Planage avec système d'asservissement géoréférencé 3D et enrobé préparé et posé à chaud"	Stabilisation de talus sur la route Gérin, Contexte de glissement de terrain	Éclairage de la route : installation de lampadaires	Protection des berges Conception d'un site d'entreposage, Recharge de plage
Identification des interviewés					
Nombre	2	2	1	1	1
Fonctions	Ingénieurs				
Titres	- Responsable de la sécurité mécanique du Tunnel - Ing. (Équipe ingénierie)	- Gérante de projet, Resp. qualité - Pilote des opérations de LIDAR mobile	Directrice des projets - Mauricie	Chargée d'activité	Chargé de projet
Déjà entendu parler du BIM?	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Données de projet					
Linéaire:	≈ 2 km (Longueur du pont)	7,21 Km	≈0,15 km		≈1,5 km
Statut:	Réalisation	Achévé	Achévé	En cours	En cours Réalisation
Date de début :	2020	2012	2013	2017	Avril 2023 (Travaux)
Date de fin :	2026	2012	2016		2024
Budget total :	≈2,5 G\$	≈1,2 M\$	< 5M\$	< 5M\$ (environ 20K\$)	≈37 M\$
Budget total :	> 100 M\$	<5 M\$	< 5M\$	< 5M\$	[5M\$; 100M\$]
Type de contrat :	conception-construction-financement	Plus bas soumissionnaire			Plus bas soumissionnaire, Gré à gré
Autre, spécifiez :					
Équipe de projet					
Équipe interne du Ministère	Équipe de 22 ingénieurs, techniciens				
Partenaires externes	Renouveau Lafontaine: Eurovia Infra, Pomerleau inc., Dodin Campenon Bernard SAS.	ACI, Couillard Construction, Roche Ltée			Tetrtech (Conception) & 3 entrepreneurs pour les 3 lots

Tableau-A II-3 Tableau comparatif des projets N°11 à 15 (suite)

	11	12	13	14	15
Date de l'entrevue	- 16/08/2023 - 24/10/2023	21/09/2023	28/09/2023	16/10/2023	17/10/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Réfection du tunnel Louis-Hyppolite-Lafontaine	Route 247-Conservation de chaussées	Stabilisation de talus- Route Gérin	Éclairage de la route 267	Protection d'un ouvrage contre l'érosion - route 199
Contexte de mise en œuvre					
Exigences BIM dans l'appel d'offre	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Exigences BIM au contrat	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Utilisation de normes en vigueur	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
Si oui, précisez :					
Évaluation de la capacité des membres de l'équipe	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Plan d'exécution BIM	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Plans de livraison de l'information	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Matrice de responsabilités	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Autres ressources :	Non		Non	Non	Non
Si oui, précisez :					
Applications/ Usages BIM					
Usage 01					
Relevé l'existant	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Si oui, préciser:	Relevé LiDAR complet du tunnel	Technologie d'acquisition en 3D utilisée par le mandataire			LiDAR terrestre fourni au mandataire
Outils/Technologies utilisés	LiDAR 3D	Trimble PCS900 / Leica Pavesmart 3D / Topcon Milling 3D			LiDAR
Usage 02					
Modèle numérique de terrain	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Si oui, préciser:					Réalisé par le mandataire
Outils/Technologies utilisés		Inroads, Civil 3D			?
Usage 03					
Analyses (environnementales, hydrauliques, géotechniques, structurales, etc...)	Oui (par le mandataire)	Non	Non	Non	?
Si oui, préciser:	Simulations: système de ventilation, résistance au feu				
Outils/Technologies utilisés					

Tableau-A II-3 Tableau comparatif des projets N°11 à 15 (suite)

	11	12	13	14	15
Date de l'entrevue	- 16/08/2023 - 24/10/2023	21/09/2023	28/09/2023	16/10/2023	17/10/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Réfection du tunnel Louis-Hyppolite-Lafontaine	Route 247- Conservation de chaussées	Stabilisation de talus- Route Gérin	Éclairage de la route 267	Protection d'un ouvrage contre l'érosion - route 199
Applications/ Usages BIM					
Usage 04					
Modélisation numérique (2D, 3D, 4D, ou 5D)	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Si oui, préciser:	Saccardo, chaussées	Modélisation 3D du resurfaçage			Réalisée pour un effet visuel, par le mandataire
Outils/Technologies utilisés	Inroads	Inroads, Civil 3D	?	?	Maquette 3D gérée par le mandataire, MTMD a accès
Usage 05					
Détection et gestion des interférences	?	Non	Non	Non	Non
Si oui, préciser:					
Usage 06					
Visualisation 3D	Non	Non	Non	Non	Oui
Usage 07					
Plateforme de communication / collaboration / Coordination	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Si oui, préciser:	Plateforme utilisée au sein du MTMD, pour collaboration avec parties externes				Communications /échanges par Sharepoint, Teams, Courriel
Outils/Technologies utilisés	Aconex			One Note partagé, Teams	Sharepoint, Teams, OneDrive
Usage 08					
Gestion des documents/ de l'information cycle de vie	Oui, mais de façon fragmentée	Non	Non	Oui, mais de façon fragmentée	Oui, mais de façon fragmentée
Si oui, préciser:	GID			GID	GID, PlaniActif
Usage 09					
Modèle tel que construit	Non	Non	Non	Non	Non
Usage 10					
Exploitation et gestion des actifs	Pas mentionné	Non	Non	Oui, mais de façon fragmentée	Oui, mais de façon fragmentée
Outils/Technologies utilisés				PlaniActif	PlaniActif
Livrables numériques					
Livrables numériques	Oui	Non	Non	Non	Peut-être, mais pas obligatoire
Si oui, préciser lesquels	Fichiers natifs 2D				Livrables 3D possibles

Tableau-A II-3 Tableau comparatif des projets N°11 à 15 (suite)

	11	12	13	14	15
Date de l'entrevue	- 16/08/2023 - 24/10/2023	21/09/2023	28/09/2023	16/10/2023	17/10/2023
Identification du projet					
Nom du projet :	Réfection du tunnel Louis-Hyppolite-Lafontaine	Route 247-Conservation de chaussées	Stabilisation de talus- Route Gérin	Éclairage de la route 267	Protection d'un ouvrage contre l'érosion - route 199
Enjeux et défis du projet					
	Découvertes inattendues sur le site de construction	Main d'œuvre qualifiée	Risque élevé de perte de données tout le long du projet	Compréhension de la valeur ajoutée du BIM	Gestion optimale des données du projet
	Les intrants fournis ne donnent pas toute l'information	Précision des outils utilisés	Fiabilité des relevés de terrain	Équipements pas assez performants pour le traitement des données	Conception optimale du site d'entreposage
	Enjeu mobilité	Paradigme culturel	Résistance au changement		Projet à refaire tous les 2 ans
		Difficulté de calibrage du LiDAR à cause du terrain			
		Mode contractuel (travaux à la tonne plutôt qu'à la surface)			
Opportunités pour le BIM					
	Anticiper sur les dégradations avant la construction	Géoradar+LiDAR		Relevés 3D faits sur le terrain à l'aide de drones	Outils numériques pour relevés topo + géotech
		Normalisation de la conservation des chaussées en 3D		Production de modèles numériques 3D des projets à partir de ces relevés 3D	Planifier ce type de projet pour réutilisation des processus et des données
Avantages					
	Aide à la validation des solutions de conception	Amélioration de l'acquisition de l'existant	Acquisition des conditions existantes facilitée	Visualisation du projet facilitée par la modélisation 3D	Gain en efficacité
	Support pour la prise de décisions, visualisation		Optimisation coûts et temps	Meilleure conservation de L'information de projet sur le long terme	Meilleure visualisation du projet
	Meilleure estimation des coûts			On évite les pertes de données	Collaboration facilitée à l'aide d'une plateforme
	Meilleur suivi des projets, planification				Centralisation et traçabilité des informations
	Meilleure gestion des risques tout au long du projet				

Tableau-A III-4 Tableau comparatif des projets N°16 à 21

	16	17	18	19	20	21
Date de l'entrevue	17/10/2023	18/10/2023	23/10/2023	23/10/2023	27/10/2023	02/11/2023
Identification du projet						
Nom du projet :	Planification et réalisation du Tunnel Ville-Marie Aut. 720	Remplacement du tablier du pont de Québec	Pavage Autoroute 55	Stabilisation de talus - Route 153	Route 155 - Étude d'opportunité	Pont 7416
Numéro :	154151177	154050296	154151116	154190046	154171083	154111517
Localisation :	Montréal, Québec	Ville de Québec, Québec	Bécancour, Centre-Du-Québec	Gaspésie	Grandes-Piles, Mauricie	Yamachiche, Mauricie
Type de projet :	Tunnel routier	Pont routier	Route	Route	Route	Pont routier
Description :	Tunnel (réfection de 8 tours de ventilation, équipements, des systèmes de détection incendie)	Démolition et remplacement du tablier existant	Pavage Autoroute 55 + ponceau 200 m	Stabilisation de talus , trop de glissements, possiblement construction d'une nouvelle route	Glissière de sécurité à concevoir et construire	Pont en Béton armé sur pieux
Identification des interviewés						
Nombre	1	3	1	2	2	
Fonctions	Ingénieur	Ingénieurs				
Titres	Équipe des grands projets	- Chargé de la maintenance du pont - Gérant de projet Remplacement Tablier - Conseiller technique	Chargée de projet	- Chargée d'activité - Arpenteur/Géomètre	- Technicien - Arpenteur Géomètre	Chargée d'activité
Déjà entendu parler du BIM?	Oui	Oui	Non	Non (chargée d'activité)	Oui	Non
Données de projet						
Linéaire:	≈8,4 km	9,87 km (95 travées)	24 km + 200m		≈ 11km	14m
Statut:	En cours Réalisation (Lot 1)	Préparation des plans et devis préliminaires	Achévé	Avant-Projet Préliminaire	Avant projet préliminaire	Préparation Plans et devis préliminaires PC4
Date de début :	2020	À déterminer	2020	mars 2023 (conception)	À définir	2024
Date de fin :	2030	À déterminer	2021	À déterminer	À définir	
Budget total :	≈2 G\$	> 100 M\$ (Projet majeur)	5 M\$	≥5 M\$	2 propositions: Soit 2,7 M \$ ou 5,3 M \$ (À déterminer)	≈1,5M\$
Type de contrat :	Mode traditionnel (Plus bas soumissionnaire)	Mode traditionnel	Mode traditionnel	Mode traditionnel	Mode traditionnel: conception-soumission-construction	Mode traditionnel
Autre, spécifiez :						

Tableau-A II-4 Tableau comparatif des projets N°16 à 21 (suite)

	16	17	18	19	20	21
Date de l'entrevue	17/10/2023	18/10/2023	23/10/2023	23/10/2023	27/10/2023	02/11/2023
Identification du projet						
Nom du projet :	Planification et réalisation du Tunnel Ville-Marie Aut. 720	Remplacement du tablier du pont de Québec	Pavage Autoroute 55	Stabilisation de talus - Route 153	Route 155 - Étude d'opportunité	Pont 7416
Équipe de projet						
Équipe interne du Ministère			Environ 10 personnes	~15 personnes (travail en silo)	1 Technicien pour l'ÉO	
				Équipe hydraulique	Équipe d'arpentage	
				Équipe géotechnique		
Partenaires externes	Tetrattech (mandataire en conception)	Mandat octroyé en 2020 (Conception)	Stantec (surveillance)	Firme mandatée pour la conception		
Contexte de mise en œuvre						
Exigences BIM dans l'appel d'offre	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :						
Exigences BIM au contrat	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :						
Utilisation de normes en vigueur	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
Si oui, précisez :						
Évaluation capacité membres de équipe	?	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :						
Plan d'exécution BIM	?	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :						
Plans de livraison de l'information	?	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :						
Matrice de responsabilités	?	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :						
Autres ressources :	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Si oui, précisez :						
Applications/ Usages BIM						
Usage 01						
Relevé l'existant	Oui (réalisé en 2017)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Si oui, préciser:	Lidar mobile (pas assez précis + scan sur trépied)	LiDAR 3D mobile réalisé en externe	Pour le pontceau	Relevés d'Arpentage + relevés bathymétriques firme externe	Arpentage	Arpentage
Outils/Technologies utilisés	LiDAR, Trépied	LiDAR		LiDAR 3D + scanners multi-faisceaux, mono-faisceau, echo-sondeur, GPS, ...	LiDAR terrestre + aéroporté	LiDAR

Tableau-A II-4 Tableau comparatif des projets N°16 à 21 (suite)

	16	17	18	19	20	21
Date de l'entrevue	17/10/2023	18/10/2023	23/10/2023	23/10/2023	27/10/2023	02/11/2023
Identification du projet						
Nom du projet :	Planification et réalisation du Tunnel Ville-Marie Aut. 720	Remplacement du tablier du pont de Québec	Pavage Autoroute 55	Stabilisation de talus - Route 153	Route 155 - Étude d'opportunité	Pont 7416
Applications/ Usages BIM						
Usage 02						
Modèle numérique de terrain	Oui	Oui	oui pour le ponceau	Oui	Oui	Oui
Si oui, préciser:		Réalisée par une firme indienne		Réalisé par firme externe	pour modéliser la solution	
Outils/Technologies utilisés	?	?	?	Power InRoads, Autocad, ORD	AutoCAD	?
Usage 03						
Analyses (environnementales, hydrauliques, géotechniques, structurales, etc...)	?	?	Non	Non	Non	?
Si oui, préciser:						
Outils/Technologies utilisés						
Usage 04						
Modélisation numérique (2D, 3D, 4D, ou 5D)	Oui	Oui	Oui Ponceau	Oui	Oui	Oui
Si oui, préciser:		Créé par le mandataire, accès donné au MTMD pour vue		Sera réalisée par mandataire, fourni au MTMD	Modélisation 2D de la solution	
Outils/Technologies utilisés	Revit	REVIT	?	?	Trident, AutoCAD	?
Usage 05						
Détection et gestion des interférences	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non
Si oui, préciser:	Revit	Revit				
Usage 06						
Visualisation 3D		Oui	Non	Non	Non	
Usage 07						
Plateforme de communication / collaboration / Coordination	Oui	Oui	Oui/presque	Oui/presque	Non	Oui
Si oui, préciser:	Cintoo, gérée par le mandataire, partagée avec le MTMD	Mais n'est pas utilisée pour les interactions/ échanges	Mention de Teams comme outil de collaboration	Teams		One Note, One Drive, Teams
Outils/Technologies utilisés	Cintoo, Autodesk BIM 360,	BIM 360				

Tableau-A II-4 Tableau comparatif des projets N°16 à 21 (suite)

	16	17	18	19	20	21
Date de l'entrevue	17/10/2023	18/10/2023	23/10/2023	23/10/2023	27/10/2023	02/11/2023
Identification du projet						
Nom du projet :	Planification et réalisation du Tunnel Ville-Marie Aut. 720	Remplacement du tablier du pont de Québec	Pavage Autoroute 55	Stabilisation de talus - Route 153	Route 155 - Étude d'opportunité	Pont 7416
Applications/ Usages BIM						
Usage 08						
Gestion des documents/ de l'information cycle de vie	Oui, mais de façon fragmentée	Oui, mais de façon fragmentée	Oui, mais de façon fragmentée	Oui, mais de façon fragmentée	Oui, mais de façon fragmentée	Oui, mais de façon fragmentée
Si oui, préciser:	GID, PlaniActif	GID, PlaniActif	Documents sauvegardés sur GID	PlaniActif, GID	PlaniActif, GID	PlaniActif, GID
Usage 09						
Modèle tel que construit	Oui	Oui	Non	Non	Non	
Usage 10						
Exploitation et gestion des actifs	Prévue à l'aide d'outils BIM	?	Oui	Oui	Oui	Oui
Outils/Technologies utilisés	?		SIGO	PlaniActif	PlaniActif	PlaniActif
Livrables numériques						
Livrables numériques	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Si oui, préciser lesquels	Fichiers natifs 2D	Livrables 3D + natifs 2D	Fichiers natifs 2D	Fichiers natifs 2D	Fichiers natifs 2D	Fichiers natifs 2D
Enjeux et défis du projet						
	Nombre d'équipements énorme à réfectionner	Gestion des parties prenantes	Beaucoup de désaccords avec l'Entrepreneur	Secteur couvre une grande surface: besoin de précision	Besoin d'une très grande précision des relevés de terrain	Contraintes liées à l'emplacement (site exigu)
	Ordinateurs pas assez performants	Délais de traitement des demandes d'autorisation	Gestion et sécurisation de l'information	Performance des ordinateurs du MTMD	Défis d'acquisition complète de l'existant, terrain abrupt	Délais d'acquisition d'autorisations environnementales trop long
	Défis de sécurisation de l'information	Qualification de la main d'œuvre	Modifications de conception	Traitement des différents relevés obtenus en interne	Manque de personnel pour suivi BIM des projets	Plusieurs PP à gérer pour un si petit projet
	Main d'œuvre qualifiée	Réticence à partager l'information aux autres parties prenantes	Partage de l'information à toutes les parties		Réglementation en vigueur	Gestion de l'information de projet
					Gestion de l'information de projet	

Tableau-A II-4 Tableau comparatif des projets N°16 à 21 (suite)

	16	17	18	19	20	21
Date de l'entrevue	17/10/2023	18/10/2023	23/10/2023	23/10/2023	27/10/2023	02/11/2023
Identification du projet						
Nom du projet :	Planification et réalisation du Tunnel Ville-Marie Aut. 720	Remplacement du tablier du pont de Québec	Pavage Autoroute 55	Stabilisation de talus - Route 153	Route 155 - Étude d'opportunité	Pont 7416
Opportunités pour le BIM						
	Transfert du modèle tel-que-construits aux équipes de maintenance	Optimisation des solutions de conception	Moyen de pérenniser l'information de projet	Communication externe et interne	Allier le LiDAR aéroporté au LiDAR terrestre pour couvrir ce genre de zone	
	Comparer mode BIM avec mode traditionnel en comparant lot 2 et les suivants au lot 1	Faire participer plus de monde à la maquette numérique	Valider les solutions de conception dès la phase d'Étude d'opportunité	Visualisation des solutions de conception		
				Commentaires simultanés des plans et devis		
Avantages						
	Gain en efficacité dans les processus	Aide à la détection des conflits	Meilleure gestion de l'information de projet	Communication du projet aux municipalités (visuelle)	Meilleure visualisation des solutions de conception dès la phase d'ÉO	Améliorer la collaboration entre les PP
	Réduction des modifications de conception	Facilite les échanges entre le mandataire et le MTMD	Facilite la communication entre le mandataire et le MTMD	Meilleure visualisation des solutions de conception		
		Mise à jour du projet rendue automatique		Support pour la prise de décision		
		Atout pour visualisation et communication				
		Aide à l'inspection				

ANNEXE IV

RÉSUMÉ DES ENTRETIENS SUR LES PROJETS

AXE 2 - ÉTAT DES PRATIQUES ET DES CONNAISSANCES ACTUELLES

Résumé des entretiens sur les projets

CONCEPTION D'UN CADRE DE DÉPLOIEMENT POUR L'ADOPTION ET L'IMPLANTATION DE LA MODÉLISATION DES DONNÉES SUR LES ACTIFS BÂTIS (BIM) AU MINISTÈRE DES TRANSPORTS ET DE LA MOBILITÉ DURABLE DU QUÉBEC

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion

GRIDD ÉTS

Transports et Mobilité durable Québec

Diagramme central illustrant les domaines d'expertise :

- Pilotage et coordination
- Processus, mise en œuvre et suivi de projet
- Écosystème numérique
- Documentation et normalisation
- Scénario politique
- Politiques, contextes et réglementation
- Développement des compétences

Le diagramme central est un hexagone à six faces, chaque face étant une couleur différente et portant un titre. Au centre de l'hexagone se trouve un pictogramme d'une personne avec des bras et des jambes tendus, symbolisant un cadre ou un processus. Des icônes plus petites sont placées à l'extérieur de chaque face.

Figure-A IV-1 Rapport des entretiens passés, page de garde

Sommaire

- Rappel de la démarche de recherche
- Analyse des entretiens
- Analyse croisée des résultats

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-2 Rapport des entretiens passés, page de sommaire

Démarche générale

Démarrage du projet

Axe 1 : Diagnostic organisationnel

1a : Conception du cadre de diagnostic | 1b : Réalisation du diagnostic

Axe 2 : État des pratiques et des connaissances actuelles émanant des projets

2a : Identification des projets | 2b : Collecte et analyse des données

Clôture du projet

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion | 3 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-3 Rapport des entretiens passés, page 3

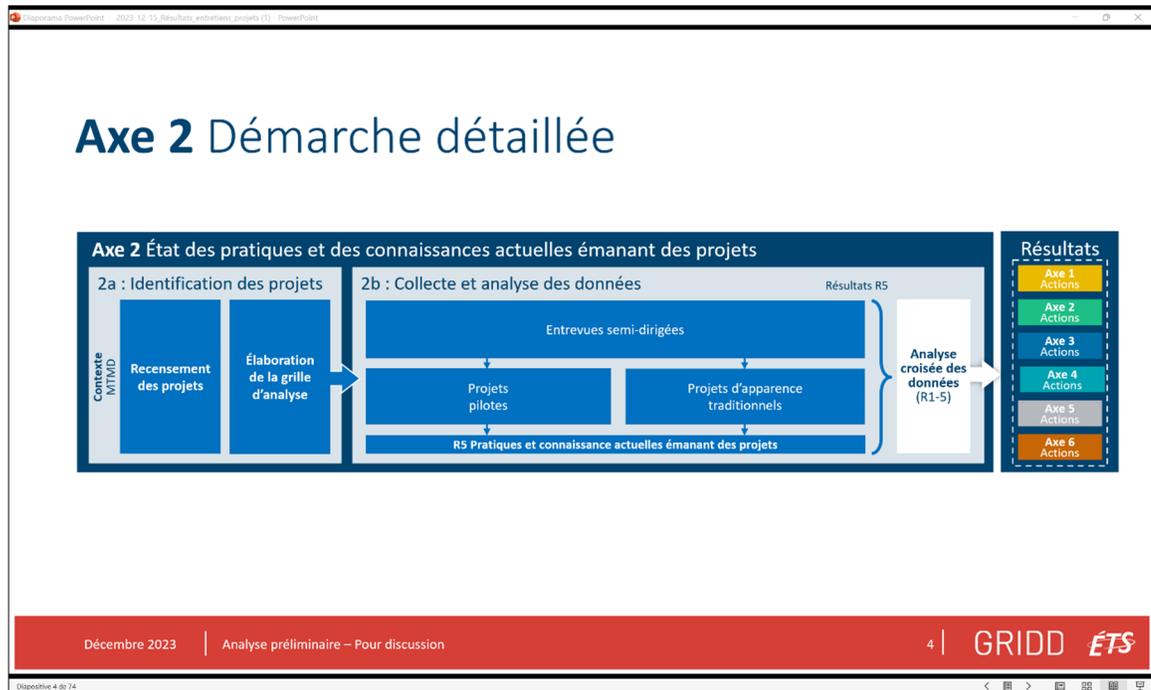


Figure-A IV-4 Rapport des entretiens passés, page 4

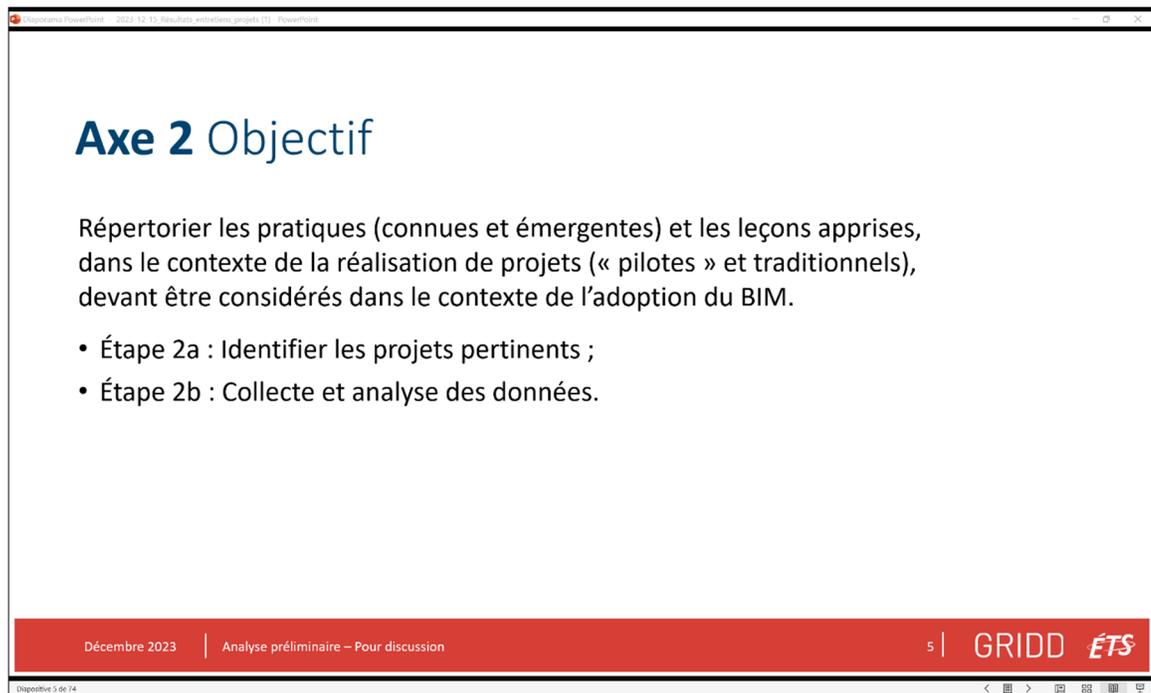


Figure-A IV-5 Rapport des entretiens passés, page 5

Axe 2 Identification des projets

1. Structure P-13836 – Portique	2. Aéroport de Québec – Hangar	3. Pont de l'île-aux-Tourtes	4. Centre de service Foster	5. Pont Camille-Parenteau	
6. Pont Gédéon-Ouimet – Reconstruction	7. Autoroute 15 – Aménagement des voies réservées et réfection des chaussées	8. Prolongement de la route 138	9. Autoroute 35 - Parachèvement Phase III	10. Autoroute 35 – Parachèvement Phase IV	
11. Tunnel L-H-Lafontaine – Réfection majeure	12. Route 247 – Conservation de chaussée	13. Route Guérin – Stabilisation de talus	14. Route 267 – Éclairage	16. Tunnel Ville-Marie – Réfection majeure	
15. Route 199 – Protection d'un ouvrage contre l'érosion	17. Pont de Québec – Remplacement du Tablier	18. Autoroute 55 – Pavage	19. Route 153 – Stabilisation de talus	20. Route 155 – Étude d'opportunité	21. Pont 7416

■ Projet pilote ■ Projet traditionnel

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion | 6 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-6 Rapport des entretiens passés, page 6

Axe 2 Collecte de données

Stratégie : Les membres des équipes de projets ayant eu recours au BIM (en tout ou en partie) sont invités à des **entretiens semi-dirigés**.

Les points principaux suivants ont été discutés :

2. Profil du répondant et équipe de projet ;
3. Description du projet : compréhension de l'environnement du projet, portée, coût, délai, etc. ;
4. Utilisation du BIM dans le projet : niveau, usage, etc. ;
5. Avantages de l'utilisation du BIM ;
6. Défis de mise en œuvre du BIM dans ce projet ;
7. Outils numériques: Quels sont les outils numériques qui ont été utilisés ;
8. Leçons apprises.

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion | 7 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-7 Rapport des entretiens passés, page 7



Figure-A IV-8 Rapport des entretiens passés, page 8

The screenshot shows a PowerPoint slide with the title "P1 Structure P-13836 – Portique". Below the title is a table with three columns: "Éléments factuels", "Description", and "Particularités". The table contains the following information:

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	05/12/2022	<ul style="list-style-type: none"> Projet de remplacement de structure Structure : pont à dalle pleine en béton armé arrivé en fin de vie ; Intérêt de l'utilisation du BIM : <ul style="list-style-type: none"> Que le projet soit reproductible ; Produire des gabarits réutilisables pour les futurs projets similaires ;
Localisation	Stoneham-et-Tewkesbury, Capitale-Nationale	
Phase	Avant-projet préliminaire et définitif	
Linéaire	-	
Coût	3,2 M \$	
Début prévu (travaux)	Été 2024	
Mode contractuel	Traditionnel	

The slide footer includes the date "Décembre 2023", the text "Analyse préliminaire – Pour discussion", and the logos for "GRIDD" and "ÉTS".

Figure-A IV-9 Rapport des entretiens passés, page 9

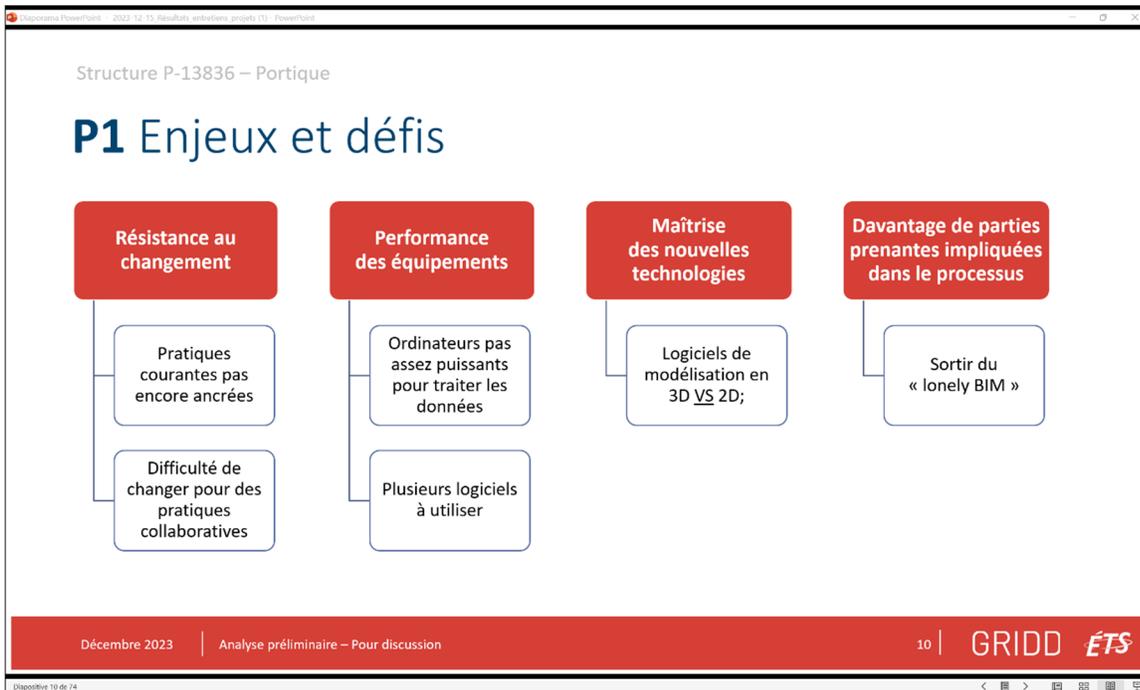


Figure-A IV-10 Rapport des entretiens passés, page 10

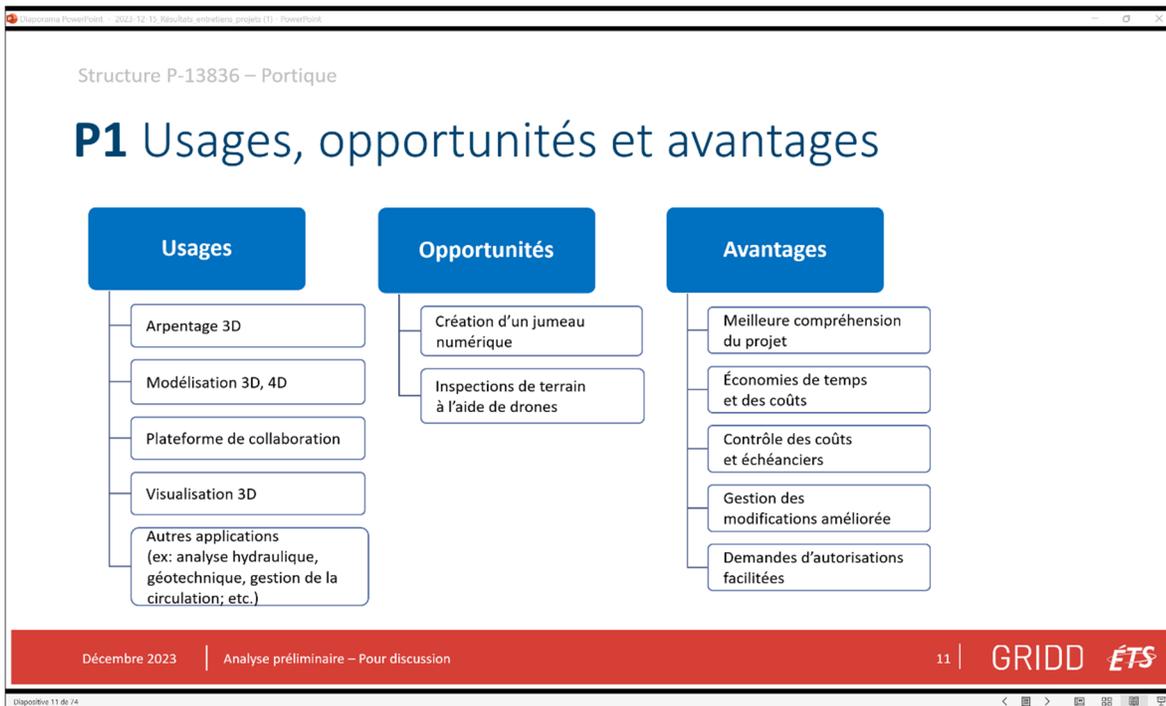


Figure-A IV-11 Rapport des entretiens passés, page 11

2023-12-12 Résultats entretiens projets (1) - PowerPoint

P2 Aéroport de Québec – Hangar

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	06/12/2023	<ul style="list-style-type: none"> Agrandissement du hangar prévu Projet débuté en 2012 et a évolué <ul style="list-style-type: none"> - BIM évoqué en début 2022 SQL est maître d'ouvrage Collaboration entre équipe BIM MTMD et équipe BIM Opportunité pour le MTMD de tirer des leçons du processus BIM mise en œuvre
Localisation	Québec	
Phase	Étude d'opportunité	
Coût	À déterminer	
Début (travaux)	À déterminer	
Mode contractuel	À déterminer	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 12 | GRIDD ÉTS

Dispositif 12 de 74

Figure-A IV-12 Rapport des entretiens passés, page 12



Figure-A IV-13 Rapport des entretiens passés, page 13

Aéroport de Québec – Hangar

P2 Usages, opportunités et avantages

Usages	Opportunités	Avantages
À définir	Tirer des leçons des pratiques BIM-PCI de la SQI	n/d

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion | 14 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-14 Rapport des entretiens passés, page 14

P3 Pont de l’île-aux-Tourtes

Éléments factuels	Description	Particularités	
Date de l'entrevue	19/12/2023	<ul style="list-style-type: none"> Projet de reconstruction du pont Exigences BIM dans le contrat, mais processus BIM piloté par l'Entrepreneur Objectifs: <ul style="list-style-type: none"> Avoir une représentation visuelle de l'ouvrage Avoir un modèle évolutif à la clôture des travaux. 	
Localisation	Entre Montréal et Montérégie		
Phase	Planification (au moment de l'entrevue) Actuellement en réalisation		
Linéaire	2 km		
Coût	2,3 G\$		
Début prévu (travaux)	Avril 2023		
Mode contractuel	Conception-construction-Financement		

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion | 15 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-15 Rapport des entretiens passés, page 15

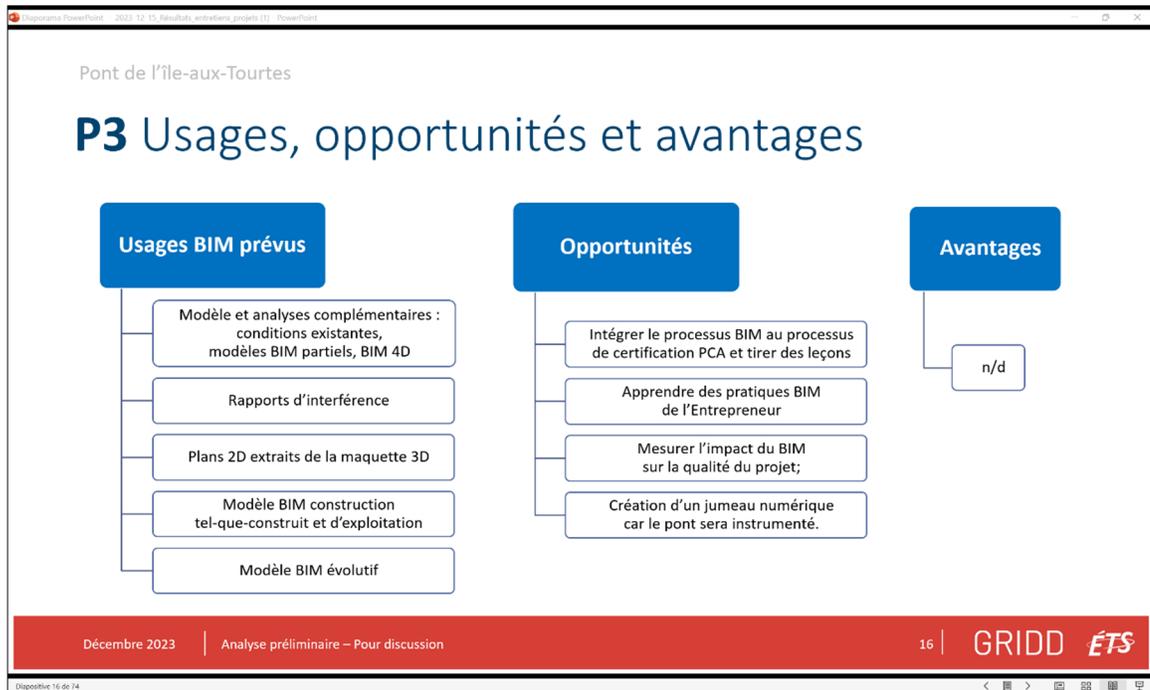


Figure-A IV-16 Rapport des entretiens passés, page 16

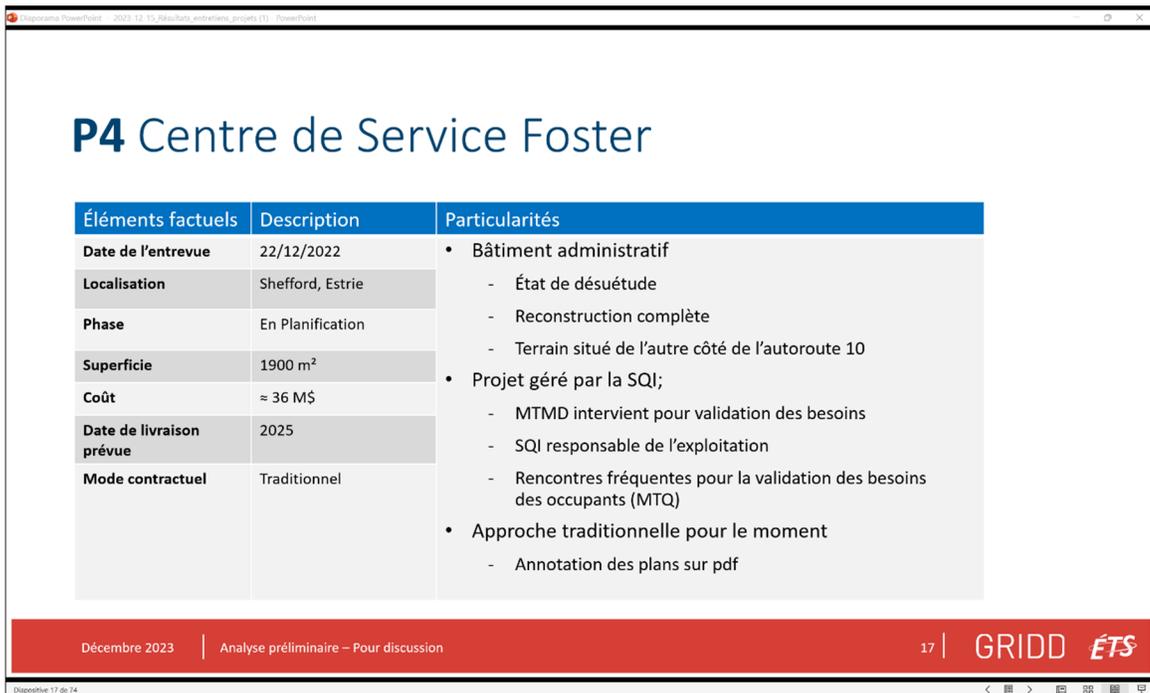


Figure-A IV-17 Rapport des entretiens passés, page 17

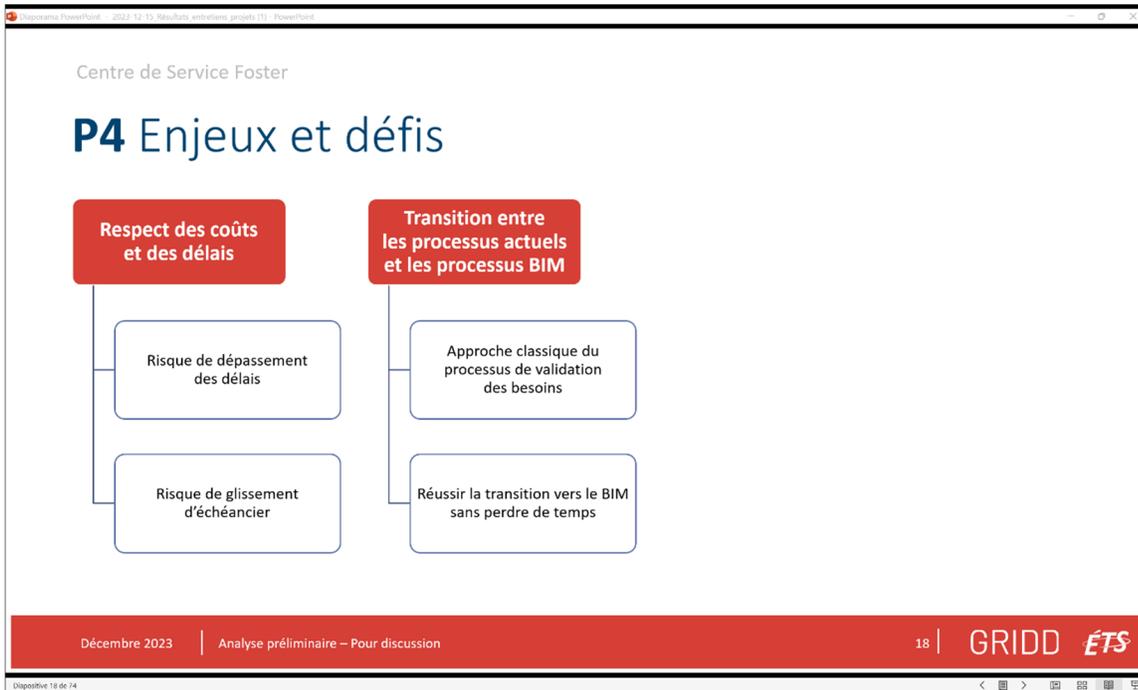


Figure-A IV-18 Rapport des entretiens passés, page 18

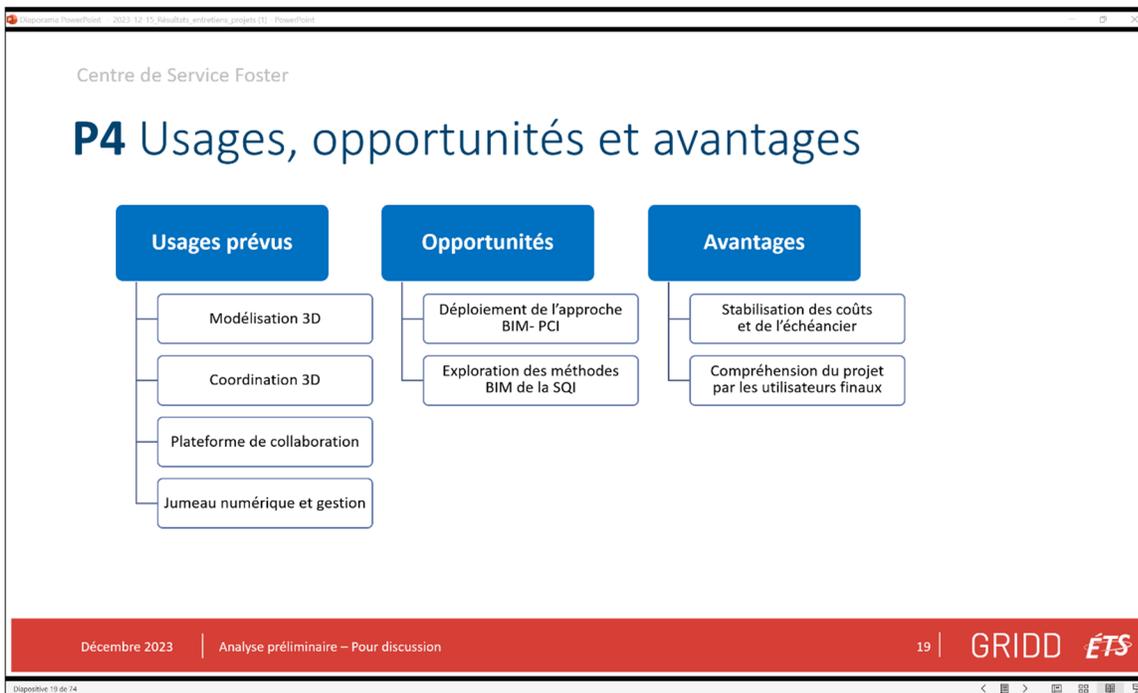


Figure-A IV-19 Rapport des entretiens passés, page 19

Rapports PowerPoint - 2023-12-13 Résultats entretiens projets (1) - PowerPoint

P5 Pont Camille-Parenteau

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	12/05/2023	<ul style="list-style-type: none"> Réfection du pont Appel d'offres public passé en septembre 2023 pour la conception Inspection aux 4 ans, effectuée par un mandataire
Localisation	Yamaska, Montérégie	
Phase	En étude (PC1)	
Linéaire	309,7 m	
Budget	À définir	
Début prévu (travaux)	À définir	
Mode contractuel	Traditionnel (AOP)	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion | GRIDD ÉTS

Diapositive 20 de 74

Figure-A IV-20 Rapport des entretiens passés, page 20

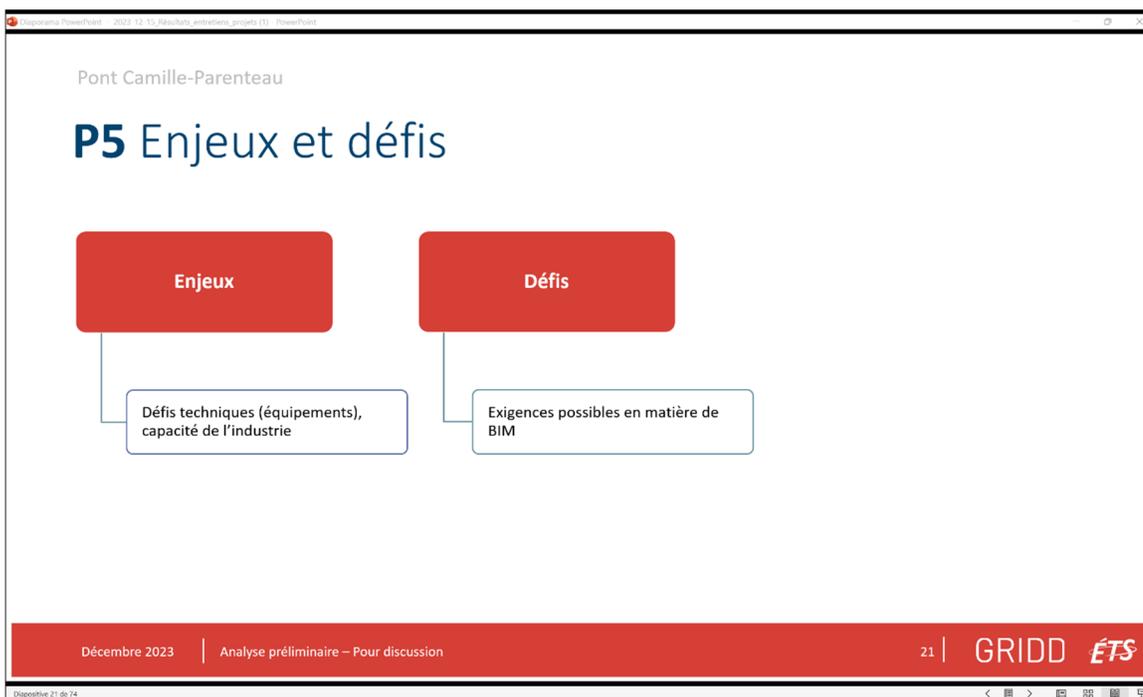


Figure-A IV-21 Rapport des entretiens passés, page 21

Pont Camille-Parenteau

P5 Usages, opportunités et avantages

Usages

- LIDAR routier – nuage de points existant
- Modélisation 3D

Opportunités

- Réalisation d'un jumeau numérique (pont instrumenté)
- Optimisation des phases d'exploitation et maintenance

Avantages

- n/d

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion
22 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-22 Rapport des entretiens passés, page 22

P6 Pont Gédéon-Ouimet – Reconstruction

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	08/08/2023	<ul style="list-style-type: none"> BIM est utilisé par les mandataires Maquette numérique 3D du projet existante, mais pas accessible par l'équipe du Ministère Livrables rendus sous format PDF et en 2D pour les plans
Localisation	entre Laval et Boisbriand	
Phase	Conception- APD (PC2)	
Linéaire	≈ 1 km	
Budget prévisionnel	≥ 100 M\$ (Projet majeur)	
Durée travaux prévue	2026 - 2031	
Mode contractuel	Traditionnel	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion
23 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-23 Rapport des entretiens passés, page 23

2023-12-15 Résultats entretiens projets (1) - PowerPoint

P7 Autoroute 15 –

Aménagement des voies réservées et réfection de la chaussée

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	08/08/2023	<ul style="list-style-type: none"> BIM est utilisé par les mandataires; Maquette numérique 3D du projet existante, mais pas accessible par l'équipe du Ministère; Livrables rendus sous format PDF et en 2D pour les plans;
Localisation	entre Laval et Boisbriand	
Phase	Préparation des plans et devis et libération des emprises	
Linéaire	≈ 11 km	
Budget prévisionnel	≥ 100 M\$ (Projet majeur)	
Début prévu (travaux)	2024	
Mode contractuel	Traditionnel	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion
24 | GRIDD ÉTS

Diapositive 24 de 74

Figure-A IV-24 Rapport des entretiens passés, page 24

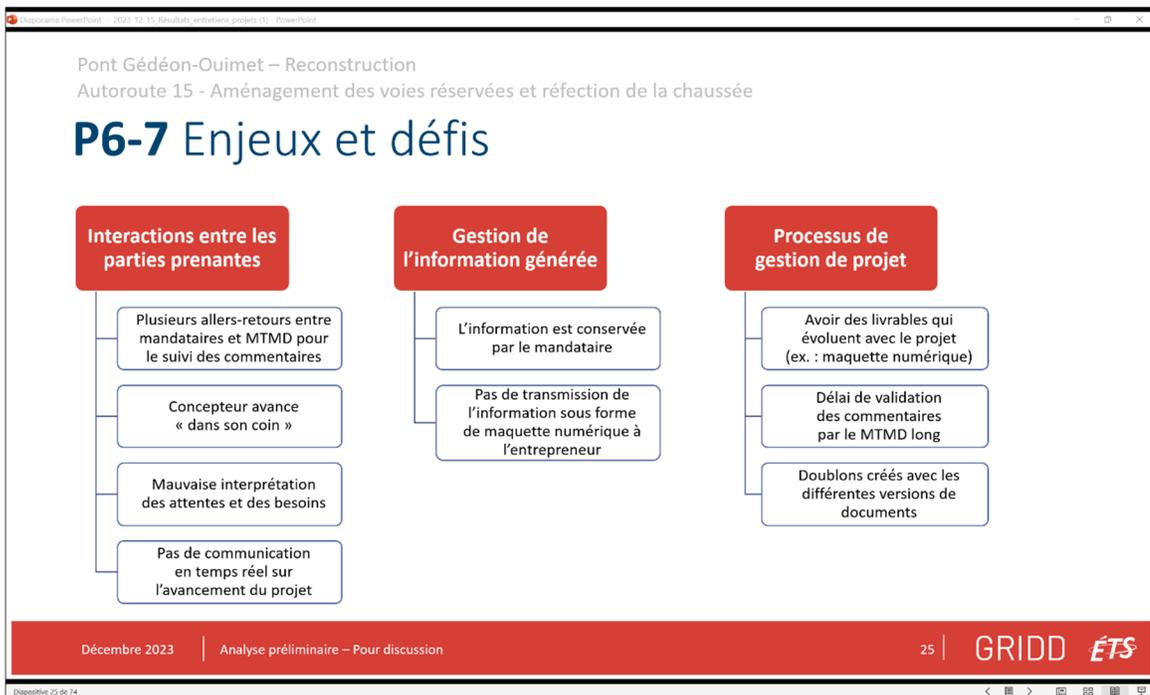


Figure-A IV-25 Rapport des entretiens passés, page 25

Pont Gédéon-Ouimet – Reconstruction
 Autoroute 15 - Aménagement des voies réservées et réfection de la chaussée

P6-7 Usages, opportunités et avantages

Usages	Opportunités	Avantages
Modélisation 3D (par le mandataire)	Transfert de la maquette numérique aux équipes chargées de l'exploitation au lieu de plans 2D	Gestion et coordination de l'information entre les parties prenantes
Visualisation en 3D	Utilisation du jumeau numérique grâce aux capteurs (exploitation et maintenance)	Amélioration des interactions entre les parties prenantes
Communication du projet aux parties prenantes	Association BIM-GIS	Suivi du projet amélioré à l'aide de la plateforme de collaboration

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 26 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-26 Rapport des entretiens passés, page 26

P8 Route 138 – Prolongement

Éléments factuels	Description				
Date de l'entrevue	11/08/2023				
Tronçons	1	2	3	4	<p>Phases de réalisation du tronçon 1 (3 phases)</p>
Localisation	Kegaska- La Romaine	La Romaine - Tête-à-la-Baleine	Tête-à-la-Baleine - La Tabatière	La Tabatière - Vieux-Fort	
Phase	Réalisation	Étude d'opportunité	Réalisation	Étude d'opportunité	<p>Lots de réalisation du tronçon 3 (2 lots)</p>
Linéaire	≈ 50 km	-	≈ 38 km	-	
Budget prévisionnel	695,5 M\$ Pour les 2 tronçons en Réalisation				
Début prévu (travaux)	2021	-	Fin 2023	-	
Mode contractuel	Traditionnel	-	Traditionnel	-	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 27 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-27 Rapport des entretiens passés, page 27

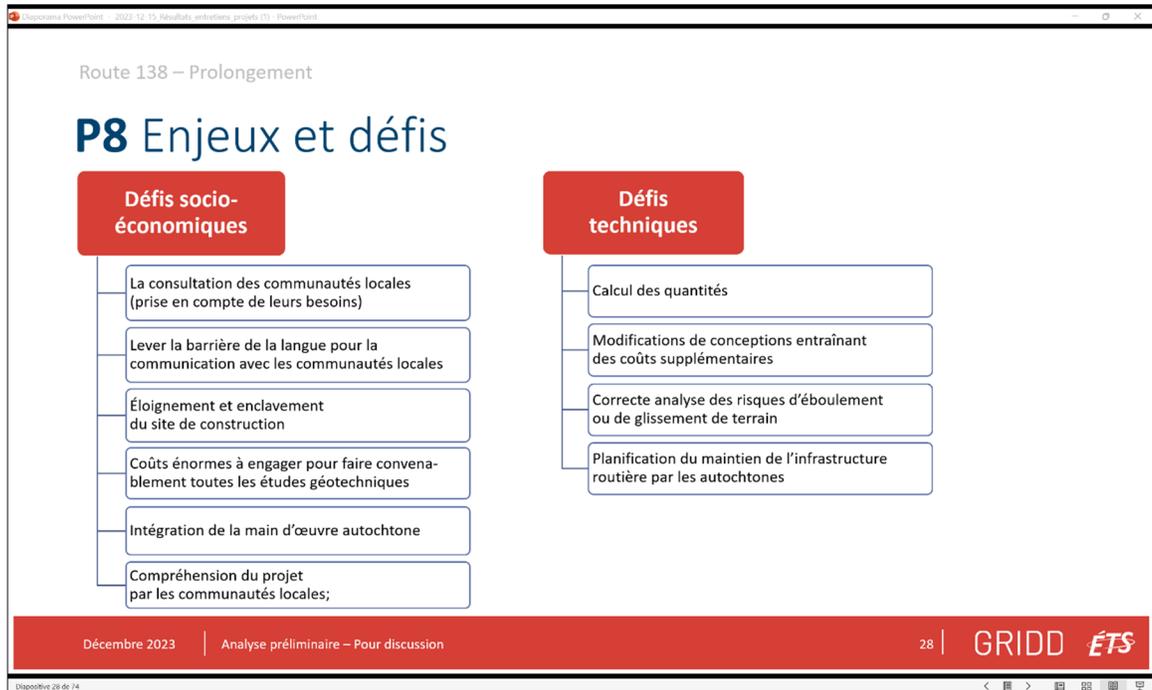


Figure-A IV-28 Rapport des entretiens passés, page 28

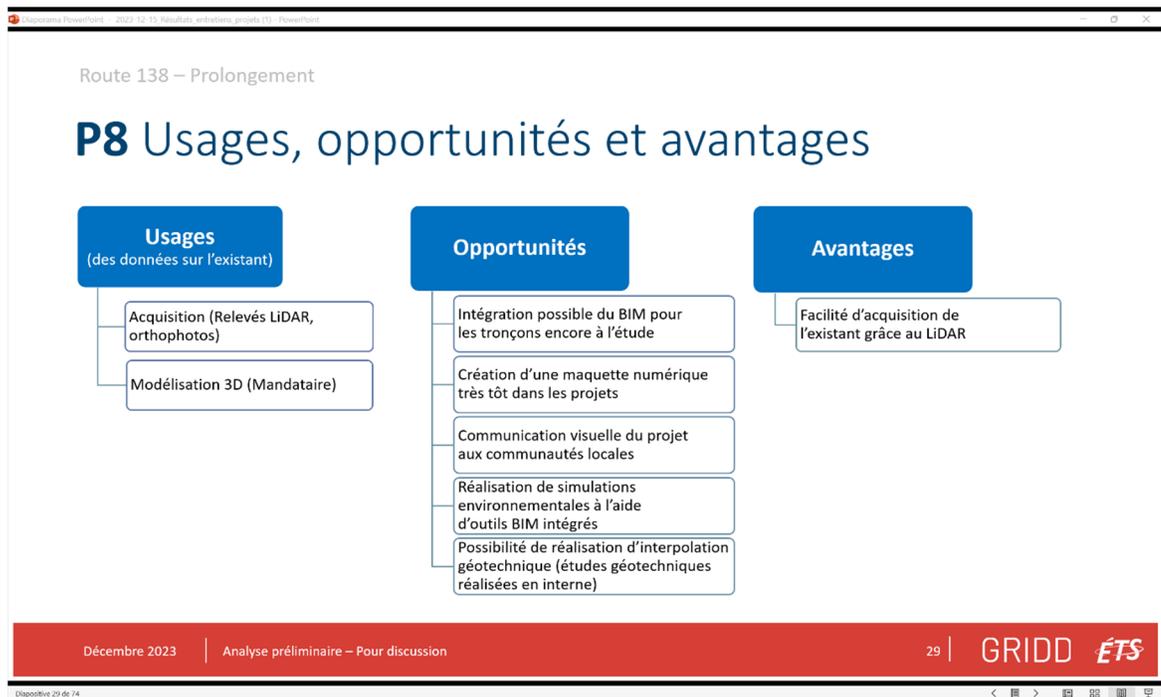


Figure-A IV-29 Rapport des entretiens passés, page 29

P9-10 Autoroute 35 – Parachèvement (Phases III & IV)

Éléments factuels	Description		Particularités
Date de l'entrevue	11/08/2023		<ul style="list-style-type: none"> Phases I et II en service depuis 2014 Utilisation du BIM par les mandataires; Maquette numérique du projet existante; Livrables 2D, pdf.
Phases	III	IV	
Localisation	entre Saint-Sébastien et Saint-Armand	entre Saint-Armand et la frontière américaine	
Phase	Réalisation (PC5)	Conception – APD (PC2)	
Linéaire	8,9 km	4,5 km	
Coût	222,9 M\$	À définir	
Début prévu (travaux)	2020	À définir	
Mode contractuel	Traditionnel	À définir	



Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 30 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-30 Rapport des entretiens passés, page 30

P9-10 Enjeux et défis

Contraintes environnementales

- Plan de compensation environnementale à produire en parallèle
- Espèces menacées (tortues, oiseaux) et présence d'agriculteurs
- Présence très forte des locaux

Visualisation du projet par le Ministère

- Livrables 2D uniquement exigés, difficiles à visualiser
- Pourtant, maquette 3D est existante.

Industrie VS Ministère

- Différence de niveau technologique entre ministère et mandataires

Communications avec les mandataires

- Délais dans les validations à effectuer

Transfert à l'exploitation

- Délais dans l'obtention des plans de conception finaux
- Transmission des plans 2D

Gestion documentaire

- Perte de certains documents, notamment des plans
- Partage de documents difficile pour les documents volumineux avec le système actuel

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 31 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-31 Rapport des entretiens passés, page 31

Autoroute 35 – Parachèvement (Phases III & IV)

P9-10 Usages, opportunités et avantages

Usages BIM

- Plateforme collaborative (EDC)
- Modélisation 3D
- Visualisation 3D
- Simulations 3D environnementales (mandataire)

Opportunités

- Exigence de livrables 3D pour la phase IV, pour faciliter le transfert à l'exploitation
- Développement d'une plateforme pour le contrôle/suivi des projets (notamment le suivi des commentaires)
- Réduction de l'écart entre l'industrie et les donneurs d'ouvrage à travers la vulgarisation des processus BIM

Avantages

- Faciliter la centralisation de l'information
- Éviter les pertes de données / documents au fil du projet

Attentes et besoins

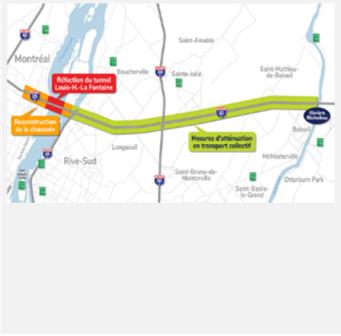
- Besoin de documentation et de structure pour amorcer le virage vers le numérique

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion

32 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-32 Rapport des entretiens passés, page 32

P11 Tunnel L-H-Lafontaine – Réfection majeure

Éléments factuels	Description	Particularités	
Date des entrevues	16/08/2023 & 24/10/2023	<ul style="list-style-type: none"> Volet système de sécurité mécanique du tunnel Relevés LIDAR complet du Tunnel, LIDAR des cheminées d'évacuation; Simulation numérique des incendies 	
Localisation	Entre la Rive-Sud et l'île de Montréal		
Phase	Réalisation		
Linéaire	≈ 2 km		
Coût	≈ 2,5 G\$		
Début (travaux)	2020		
Mode contractuel	Conception-Construction-Financement		

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion

33 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-33 Rapport des entretiens passés, page 33

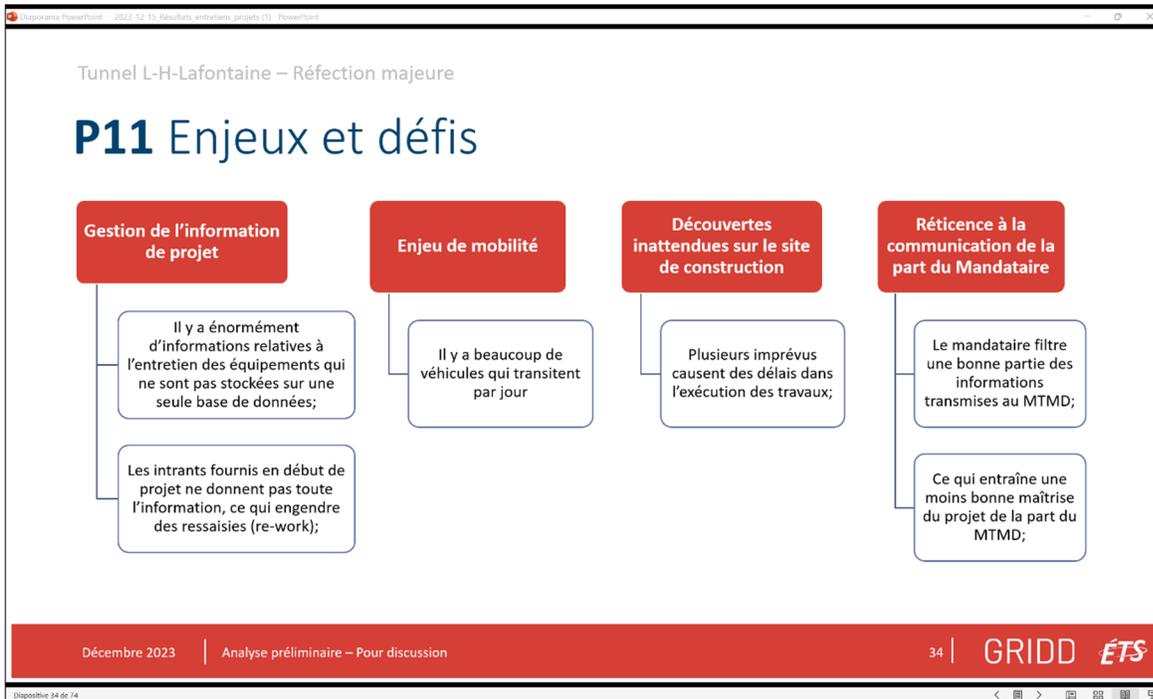


Figure-A IV-34 Rapport des entretiens passés, page 34

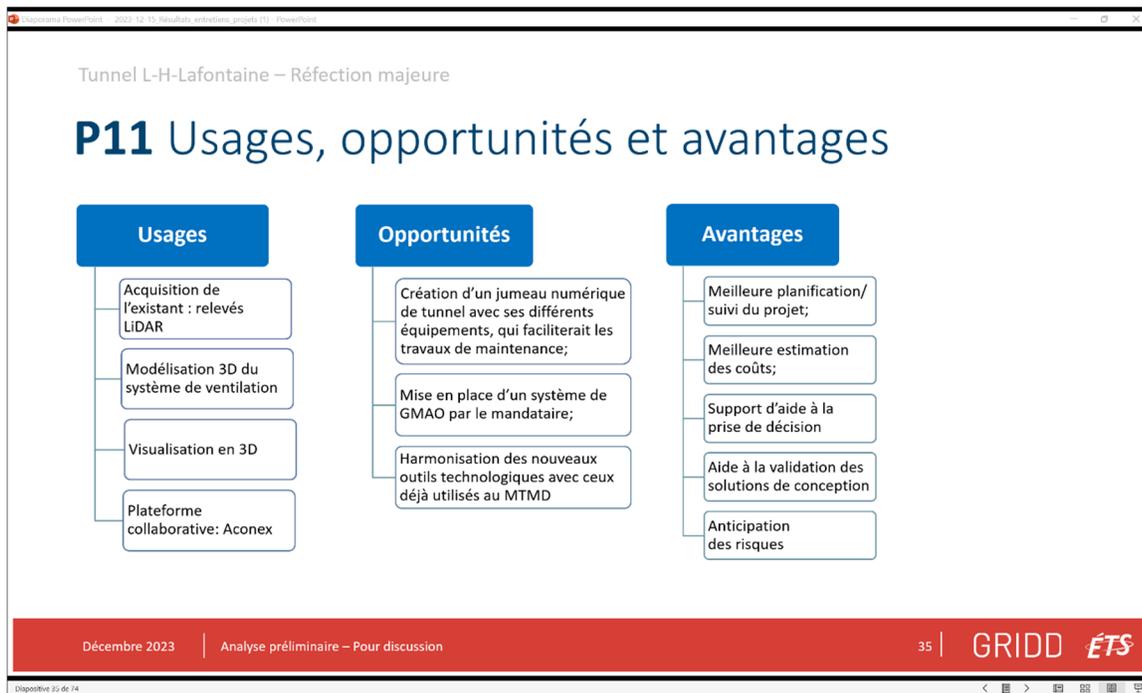


Figure-A IV-35 Rapport des entretiens passés, page 35

2023-12-12 Résultats entretiens projets (1) - PowerPoint

P12 Route 247 – Conservation de chaussée

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	21/09/2023	<ul style="list-style-type: none"> Travaux de planage avec système d'asservissement géoréférencé 3D et enrobé préparé et posé à chaud Projet pilote pour la conception 3D de resurfacement des chaussées Projet précurseur des technologies d'acquisition LiDAR 3D mobile
Localisation	De Fitch Bay à Georgeville (Stantstead, Estrie)	
Phase	Projet achevé depuis 2012	
Linéaire	7,21 Km	
Coût	≈ 1,2 M\$	
Durée (travaux)	3 mois	
Mode contractuel	Traditionnel	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 36 | GRIDD ÉTS

Diapositive 36 de 74

Figure-A IV-36 Rapport des entretiens passés, page 36

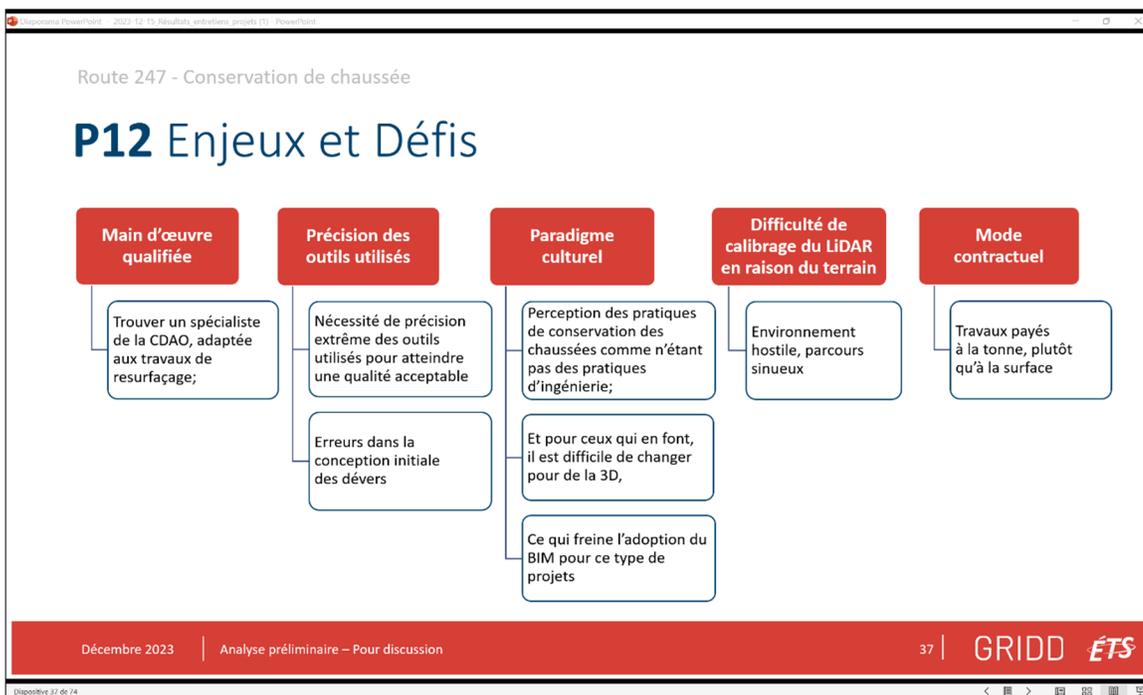


Figure-A IV-37 Rapport des entretiens passés, page 37

Route 247 - Conservation de chaussée

P12 Usages, opportunités et avantages

```

    graph LR
      subgraph Usages
        U1[Acquisition de l'existant (Relevés LiDAR)]
        U2[Modélisation 3D de la surface d'asphalte (par l'entrepreneur)]
      end
      subgraph Opportunités
        O1[Acquisition d'un géoradar, à combiner avec le LiDAR, pour des captures plus précises de la réalité]
        O2[Normalisation des conservations de chaussées en 3D]
        O3[Automatisation des processus (AI)]
      end
      subgraph Avantages
        A1[Amélioration des relevés d'arpentage]
      end
  
```

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 38 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-38 Rapport des entretiens passés, page 38

P13 Route Guérin – Stabilisation de talus

Éléments factuels	Description	Particularités
Date des entrevues	28/09/2023	<ul style="list-style-type: none"> Contexte du projet: Glissement de terrain dans la zone; Maquette numérique élaborée par la Direction Géotechnique; Défis sont principalement d'ordre environnemental (sol de piètre qualité); Ouverture du débat sur d'autres projets de la Direction de la Mauricie.
Localisation	Saint-Justin, Mauricie	
Phase	Projet achevé depuis 2016	
Linéaire	≈ 0,15 km	
Coût	< 5 M\$	
Durée	2013-2016	
Mode contractuel	Traditionnel	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 39 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-39 Rapport des entretiens passés, page 39

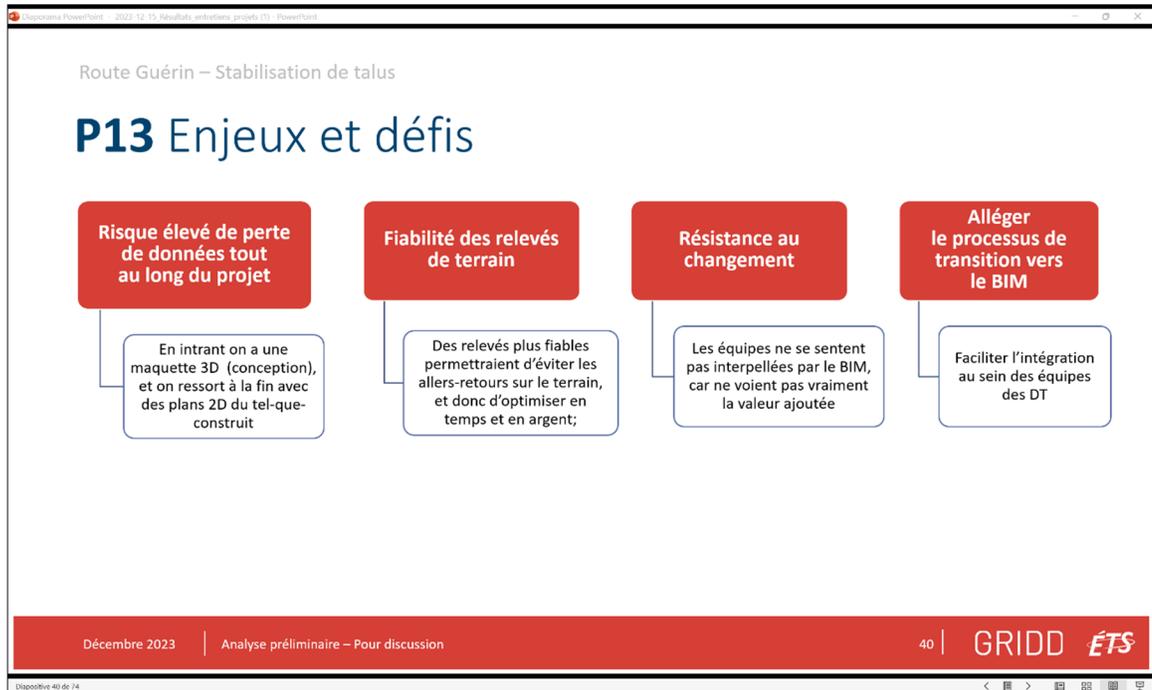


Figure-A IV-40 Rapport des entretiens passés, page 40

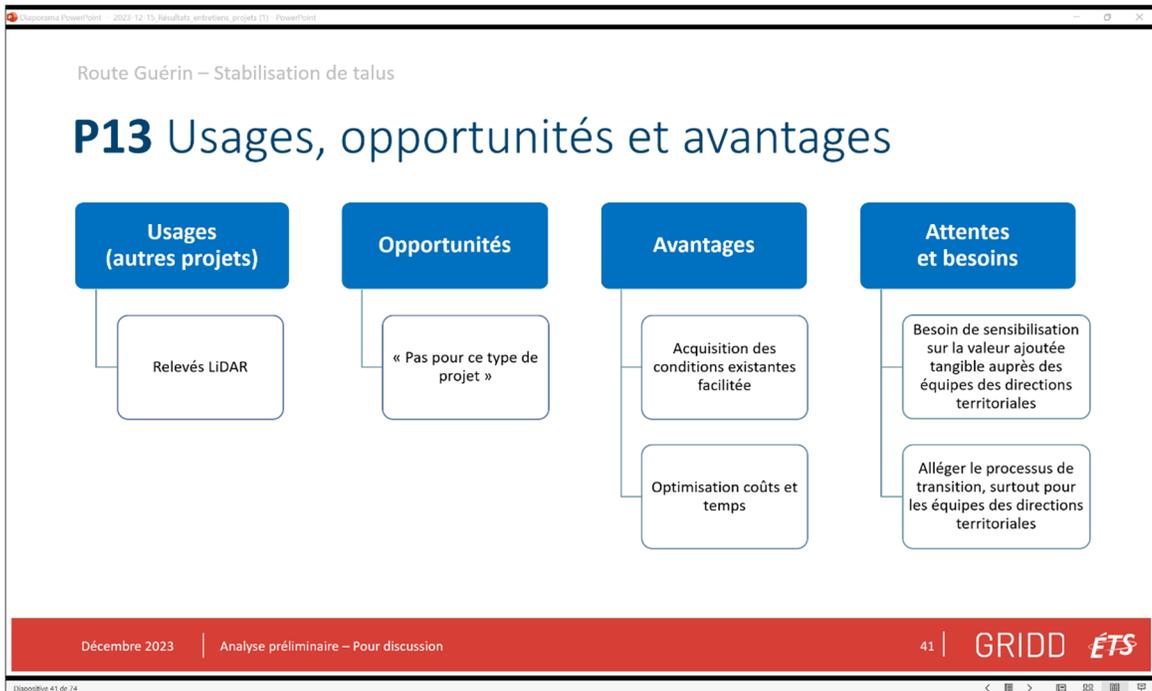


Figure-A IV-41 Rapport des entretiens passés, page 41

P14 Route 267 – Éclairage

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	16/10/2023	<ul style="list-style-type: none"> Contexte du projet: <ul style="list-style-type: none"> Besoin d'amélioration de l'éclairage de la route; Remplacement de 6 lampadaires. Petit projet, outils de collaboration utilisés: <ul style="list-style-type: none"> One Note Partagé (soutient le transfert de l'information) Réunions Teams; PlaniActif (base de données accessible à tous); Pas de BIM / technologies numériques à proprement parler, ouverture sur d'autres projets;
Localisation	Inverness, Centre-du-Québec	
Statut	Projet toujours en cours	
Coût	< 20 000 \$	
Début (travaux)	2017	
Mode contractuel	Pas d'intervenant externe	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 42 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-42 Rapport des entretiens passés, page 42

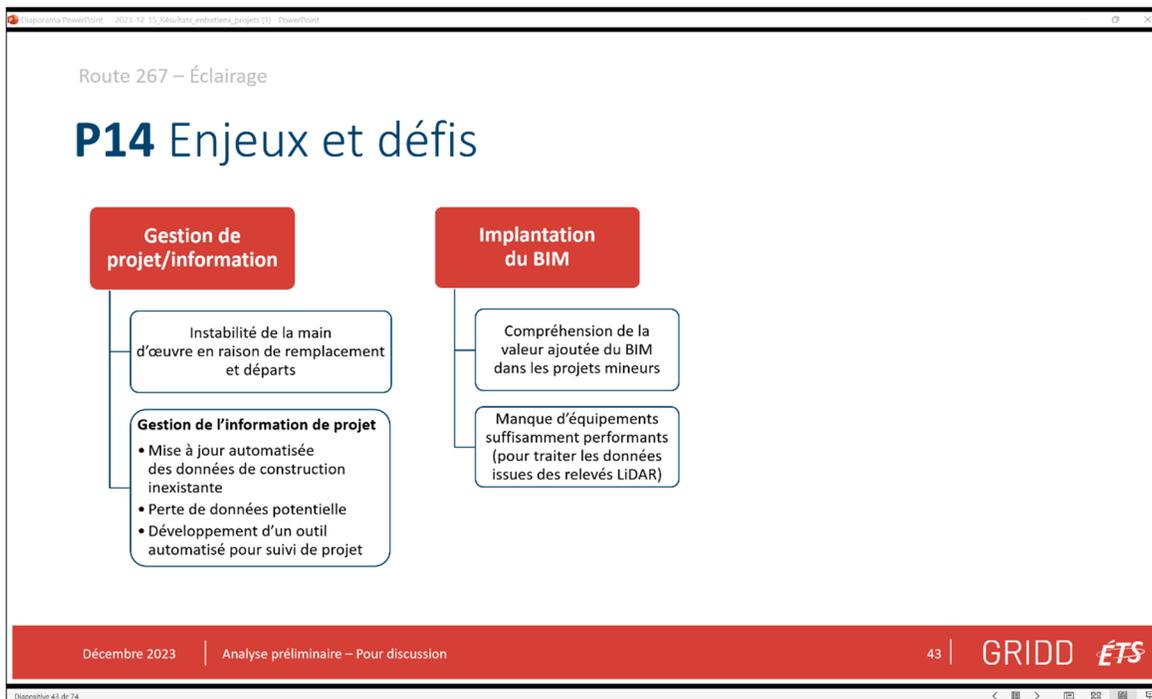


Figure-A IV-43 Rapport des entretiens passés, page 43

Route 267 – Éclairage

P14 Avantages, opportunités, attentes et besoins

```

graph TD
    A[Avantages] --- A1[Modélisation 3D faciliterait une meilleure visualisation du projet]
    A --- A2[Meilleure conservation de l'information de projet sur le long terme]
    A --- A3[Éviter les pertes de données]
    O[Opportunités (autres projets)] --- O1[Relevés 3D sont faits sur le terrain à l'aide de drones pour l'acquisition des conditions de terrain]
    O --- O2[Modèle numérique 3D des projets à partir de ces relevés]
    B[Attentes et besoins] --- B1[Communication massive sur ce qu'est le BIM dans les Directions Territoriales;]
  
```

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion

44 | GRIDD ÉTS

Diapositive 44 de 74

Figure-A IV-44 Rapport des entretiens passés, page 44

P15 Route 199 – Protection contre l'érosion

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	17/10/2023	<ul style="list-style-type: none"> Protection des berges: <ul style="list-style-type: none"> - Recharge de plage (pas beaucoup de sources de sable); - Conception d'un site d'entreposage Projet scindé en 3 lots dont les 2 premiers déjà réalisés, 3^{ème} en cours de réalisation Livrables en 2D Outils: <ul style="list-style-type: none"> - Planiactif: base de données en lecture seule - Système GPR: échéancier et budgétisation - GID pour sauvegarde des données
Localisation	Pointes-aux-Loups, îles de la Madeleine	
Phase	Réalisation	
Linéaire	≈ 1,5 km	
Coût	≈37 M\$	
Début (travaux)	Avril 2023	
Mode contractuel	Traditionnel	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion

45 | GRIDD ÉTS

Diapositive 45 de 74

Figure-A IV-45 Rapport des entretiens passés, page 45

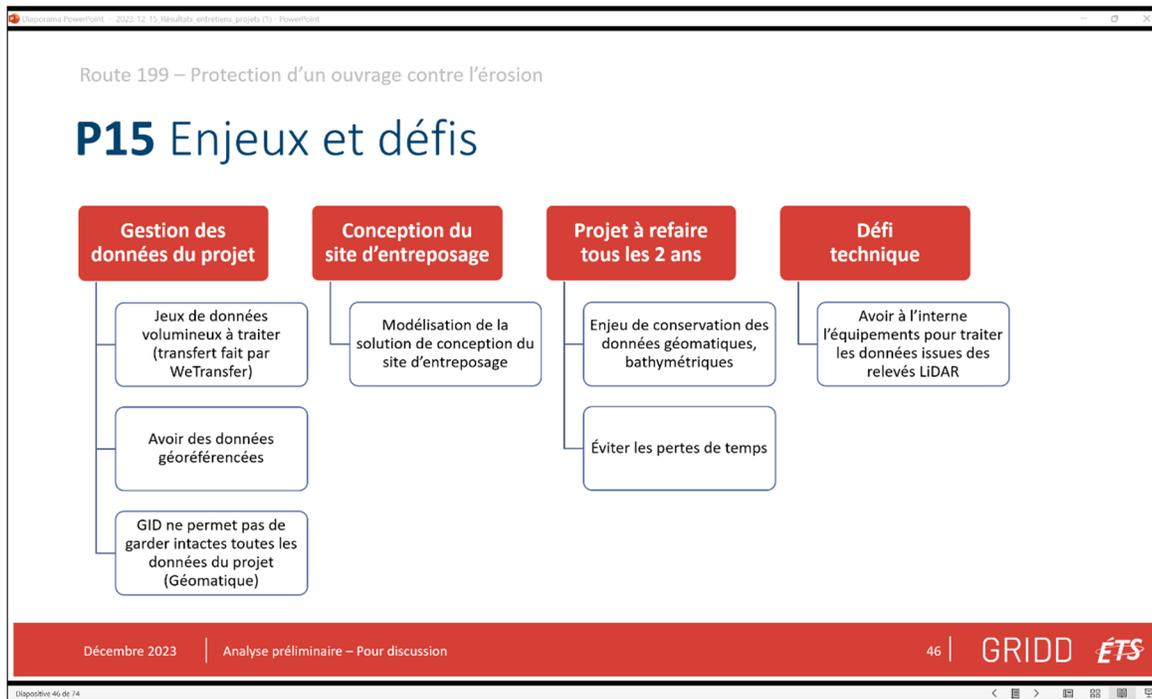


Figure-A IV-46 Rapport des entretiens passés, page 46

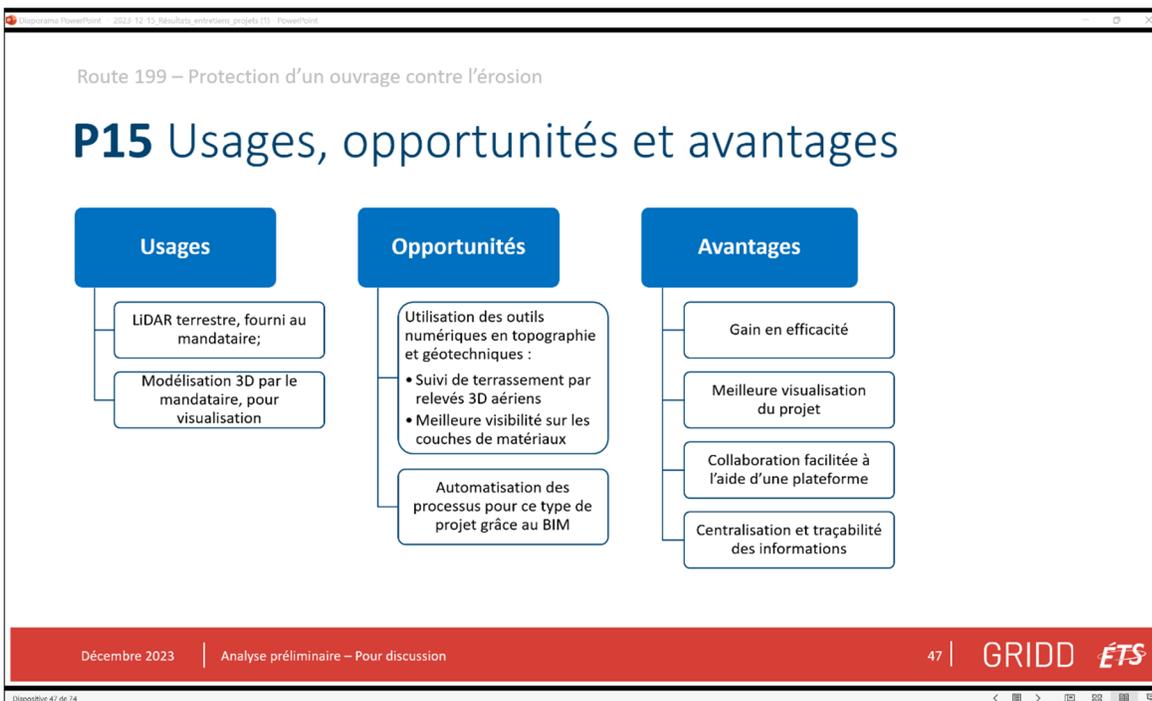


Figure-A IV-47 Rapport des entretiens passés, page 47

P16 Tunnel Ville-Marie – Réfection majeure

Éléments factuels	Description	Particularités	
Date de l'entrevue	17/10/2023	<ul style="list-style-type: none"> Travaux: <ul style="list-style-type: none"> Réparation d'éléments structuraux (ponts d'étagement, murs de soutènement, chaussées) Modernisation des systèmes électriques, d'éclairage, de ventilation, de drainage, de communication Projet scindé en 6 lots BIM implanté en réalisation du lot 1 Livrables 2, PDF Outils BIM utilisés: Autodesk BIM 360, Revit, Navisworks, Cintoo 	
Localisation	Centre-ville de Montréal		
Phase	Réalisation		
Linéaire	≈8,4 km		
Coût	≈2 G\$		
Durée prévue (travaux)	10 ans (2020-2030)		
Mode contractuel	Traditionnel		



Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion | 48 | GRIDD ÉTS

Dispositif 48 de 74

Figure-A IV-48 Rapport des entretiens passés, page 48

Tunnel Ville-Marie – Réfection majeure

P16 Enjeux et défis

Nombre élevé d'équipements à réfectionner

- Gestion de la maintenance de tous ces équipements
- Gestion quotidienne

Manque de puissances des ordinateurs

- Visualisation de la maquette 3D difficile

Sécurité de l'information

- Interdiction d'avoir un *cloud* hébergé hors du territoire
- Stockage des données sur les serveurs des mandataires

Main d'œuvre qualifiée

- Expertise des équipes d'ingénierie

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion | 49 | GRIDD ÉTS

Dispositif 49 de 74

Figure-A IV-49 Rapport des entretiens passés, page 49

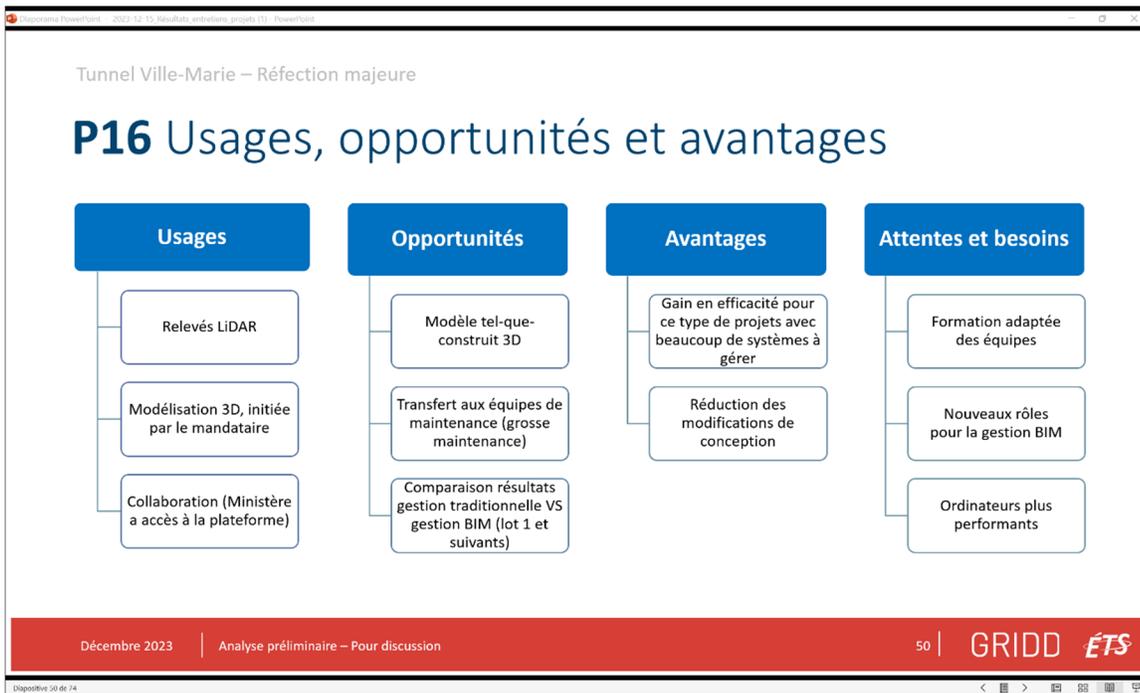


Figure-A IV-50 Rapport des entretiens passés, page 50

P17 Pont de Québec - Remplacement du tablier

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	18/10/2023	<ul style="list-style-type: none"> Projet encore en planification, prévu sur 3 ans BIM utilisé par les mandataires Outils BIM utilisés: BIM 360, Revit Livrables numériques 3D (natif REVIT), en plus des plans 2D
Localisation	Ville de Québec	
Phase	Préparation des plans et devis préliminaires	
Linéaire	9,87 km	
Coût	> 100 M\$ (Projet majeur)	
Mode contractuel	Traditionnel	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 51 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-51 Rapport des entretiens passés, page 51

Pont de Québec – Remplacement du Tablier

P17 Enjeux et défis

- Gestion des parties prenantes**
 - Besoin des autorisations de toutes les parties prenantes, ce qui crée des délais
- Qualification de la main d'œuvre**
 - Besoin d'une main d'œuvre qualifiée pour traiter les données reçues du mandataire
- Communication entre les parties prenantes**
 - Il y a de la réticence de certaines parties prenantes à partager toute l'information de projet avec d'autres

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 52 | GRIDD ÉTS

Diapositive 52 de 74

Figure-A IV-52 Rapport des entretiens passés, page 52

Pont de Québec – Remplacement du Tablier

P17 Usages, opportunités et avantages

- Usages**
 - Relevés LiDAR
 - Modélisation en 3D
 - Détection des conflits,
 - Visualisation 3D
- Opportunités**
 - Optimisation des solutions de conception
 - Faire participer plus de monde à la maquette numérique
 - BIM pour la préfabrication
- Avantages**
 - Aide à la détection des conflits
 - Facilite les échanges entre le mandataire et le MTMD
 - Mise à jour du projet rendue automatique
 - Aide à l'inspection
 - Atout pour la visualisation et la communication

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 53 | GRIDD ÉTS

Diapositive 53 de 74

Figure-A IV-53 Rapport des entretiens passés, page 53

P18 Autoroute 55 – Pavage

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	23/10/2023	<ul style="list-style-type: none"> Pavage classique de l'autoroute, sur 24 km, et construction d'un ponceau (200m); Livrables en 2D; Pas de LiDAR; Communication entre les parties prenantes via Teams; Plateforme de partage des documents entre le Ministère et le mandataire.
Localisation	Mauricie-Centre-du-Québec	
Statut	Achévé depuis 2021	
Linéaire	24 km	
Coût	5 M\$	
Durée	17 semaines	
Mode contractuel	Traditionnel	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 54 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-54 Rapport des entretiens passés, page 54

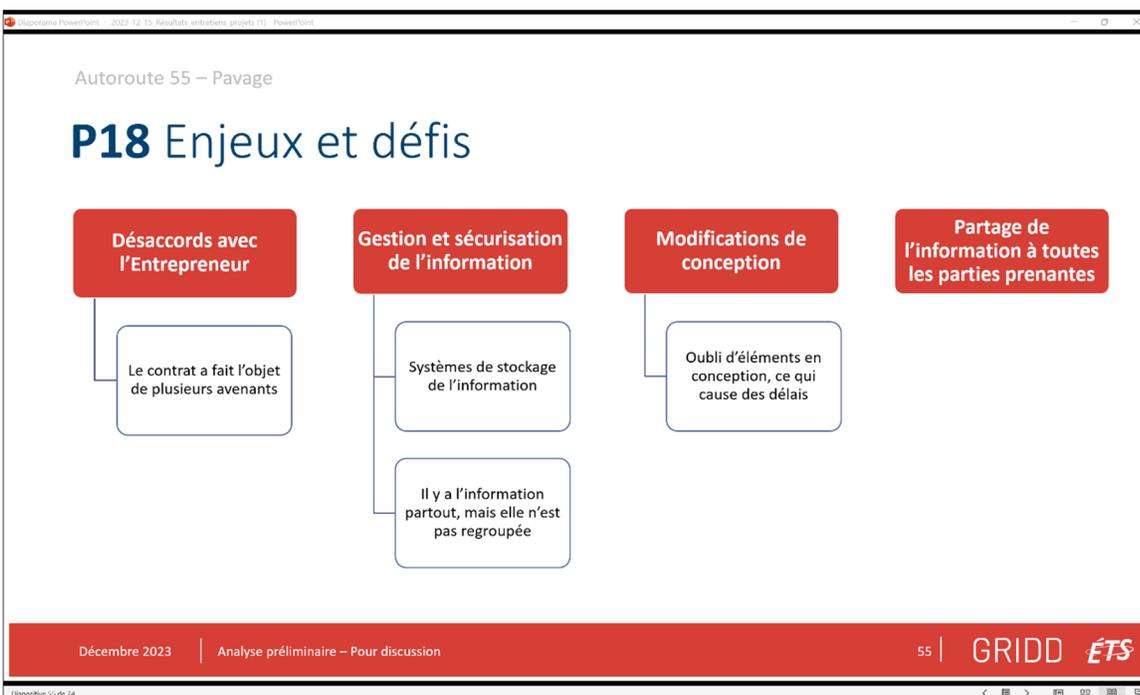


Figure-A IV-55 Rapport des entretiens passés, page 55

Autoroute 55 – Pavage

P18 Usages, opportunités et avantages

Usages	Opportunités	Avantages
Relevé LiDAR pour le ponceau	Pérennisation de l'information de projet (possible pertes de donnée dues temps et aux plateformes actuelles)	Meilleure gestion de l'information de projet
Modélisation 3D ponceau	Validation totale des solutions dès la phase d'Étude d'opportunité	Facilitation de la communication entre le mandataire et le MTMD
Collaboration via Teams		

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 56 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-56 Rapport des entretiens passés, page 56

P19 Route 153 – Stabilisation de talus

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l'entrevue	23/10/2023	<ul style="list-style-type: none"> Projet de stabilisation, et possiblement construction d'une nouvelle route; Études hydraulique et géotechnique réalisées en interne: Étude hydraulique prend en intrant les relevés bathymétriques; Étude géotechnique: modélisation en 3D Relevé de terrain: GPS + LiDAR aéroporté, car terrain large;
Localisation	Gaspésie	
Phase	Avant-projet préliminaire (PC2)	
Linéaire	À déterminer	
Coût	≥ 5 M\$	
Début (conception)	Mars 2023	
Mode contractuel	Traditionnel	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 57 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-57 Rapport des entretiens passés, page 57

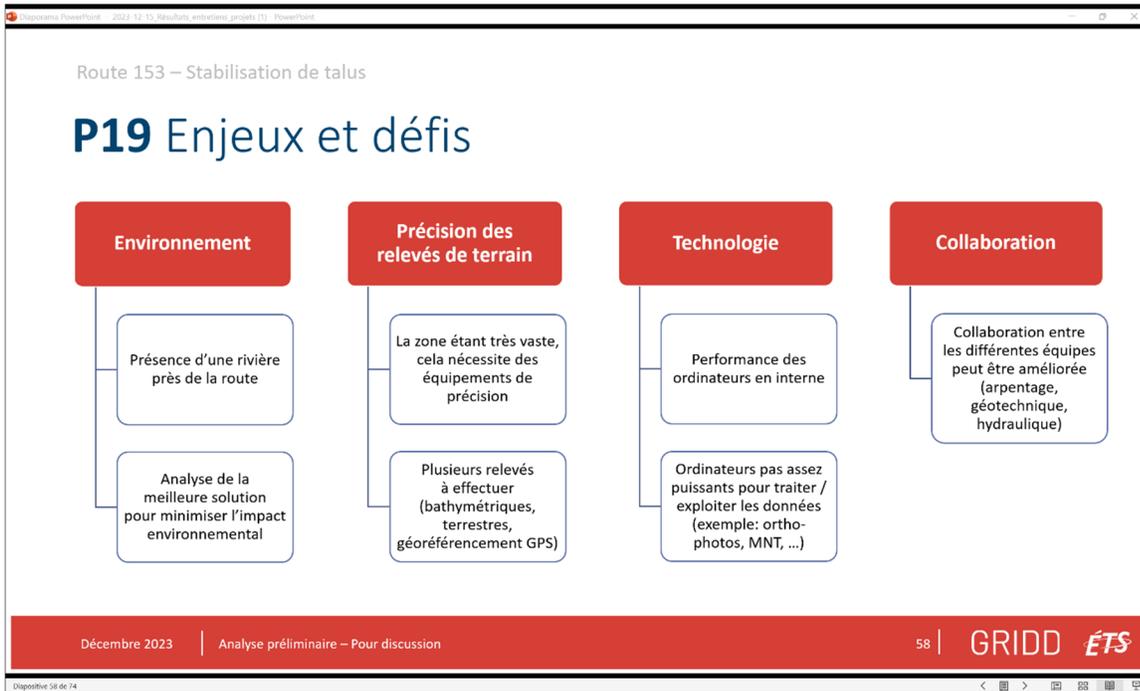


Figure-A IV-58 Rapport des entretiens passés, page 58

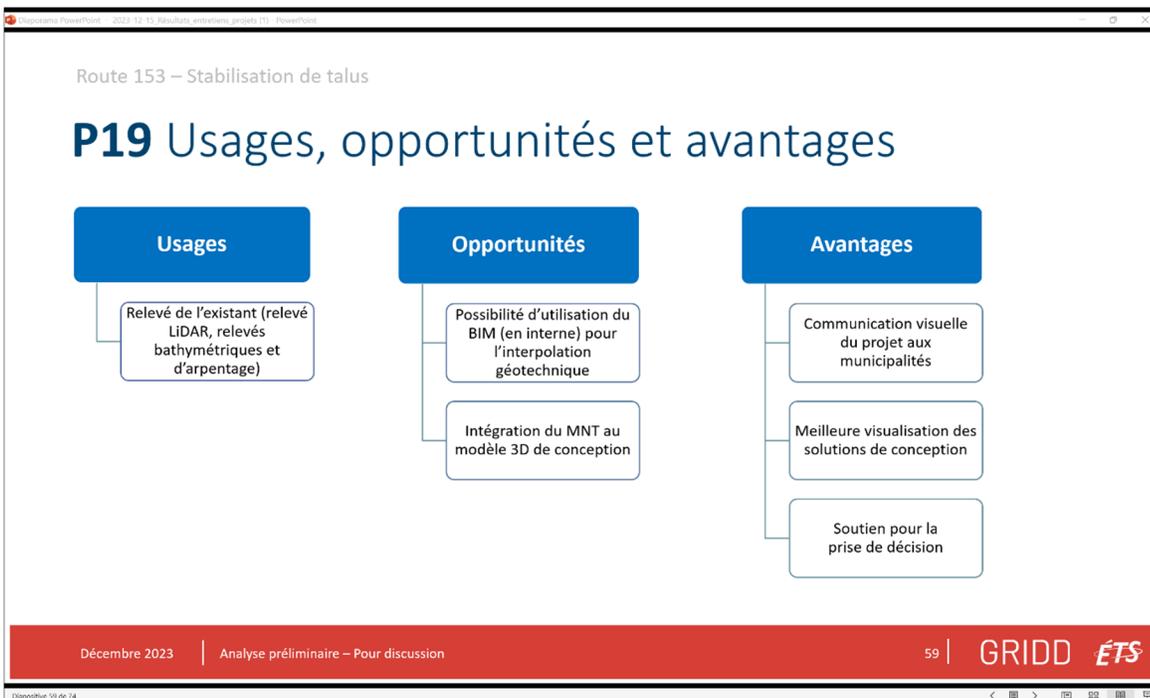


Figure-A IV-59 Rapport des entretiens passés, page 59

P20 Route 155 – Étude d’opportunité

Éléments factuels	Description	Particularités
Date de l’entrevue	27/10/2023	<ul style="list-style-type: none"> Projet de réaménagement de la glissière de sécurité Problématique : <ul style="list-style-type: none"> - Proximité de la route avec la rivière - Norme exige un certain recouvrement derrière les poteaux: 500 mm de remblai derrière le poteau de glissière; - S’assurer une concevoir une solution qui respecte cette norme LiDAR a permis d’avoir un modèle 3D pour évaluer une solution <ul style="list-style-type: none"> - Le LiDAR routier avait déjà été réalisé - Création d’une polyligne sur les 11 km dans l’outil Trident - Création d’un pseudo-MNT avec la résolution donnée Logiciels de CAD majoritairement utilisés (AutoCAD, Trident)
Localisation	Grandes Piles, Mauricie	
Phase	Projet rendu au PC3	
Linéaire	≈ 11 km	
Coût	À définir	
Début (travaux)	À définir	
Mode contractuel	Traditionnel	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 60 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-60 Rapport des entretiens passés, page 60

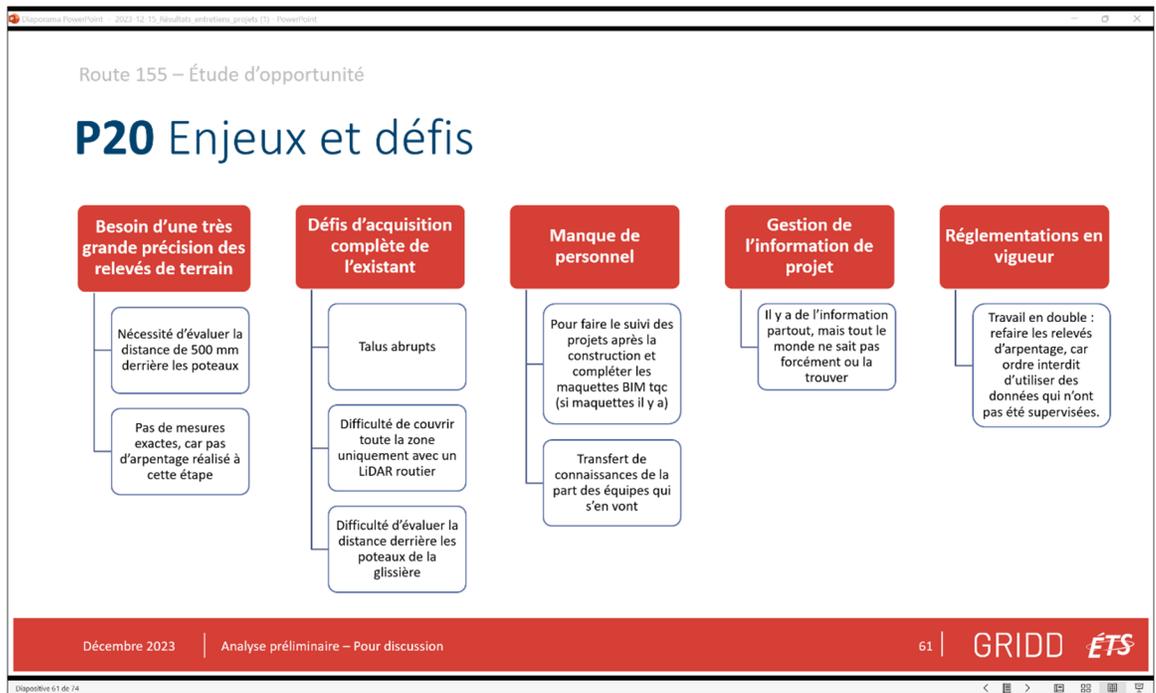


Figure-A IV-61 Rapport des entretiens passés, page 61

Route 155 – Étude d'opportunité

P20 Usages, opportunités et avantages

Usages

- LIDAR terrestre (déjà existant) utilisé
- Modélisation en 2D (Trident) des solutions proposées

Opportunités

- Allier le LIDAR aéroporté au LIDAR terrestre pour couvrir ce genre de zone

Avantages

- Meilleure visualisation des solutions de conception dès la phase d'ÉO

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 62 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-62 Rapport des entretiens passés, page 62

P21 Structure P-7416 – Pont

Éléments factuels	Description
Date de l'entrevue	02/11/2023
Localisation	Yamachiche, Mauricie
Phase	Plans et devis préliminaires
Linéaire	14 m
Coût	≈1,5 M\$
Début (travaux)	Prévus pour 2024
Mode contractuel	Traditionnel Contrat d'exécution sur demande en plusieurs prestations de services

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 63 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-63 Rapport des entretiens passés, page 63

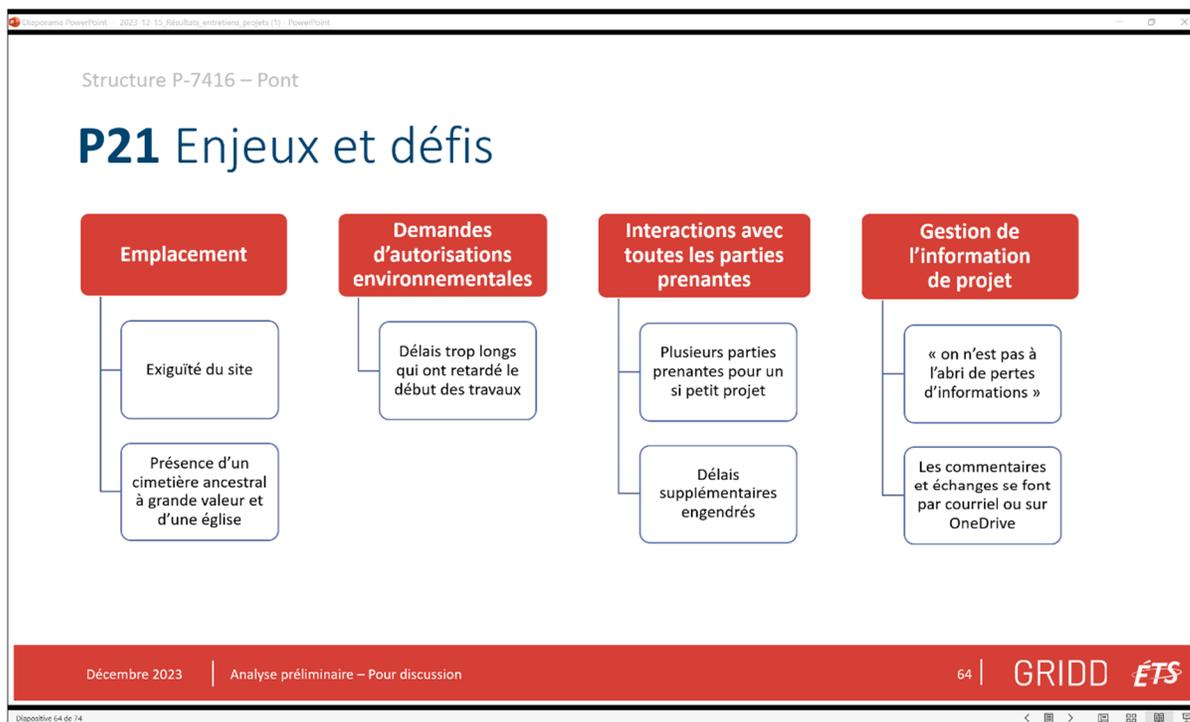


Figure-A IV-64 Rapport des entretiens passés, page 64

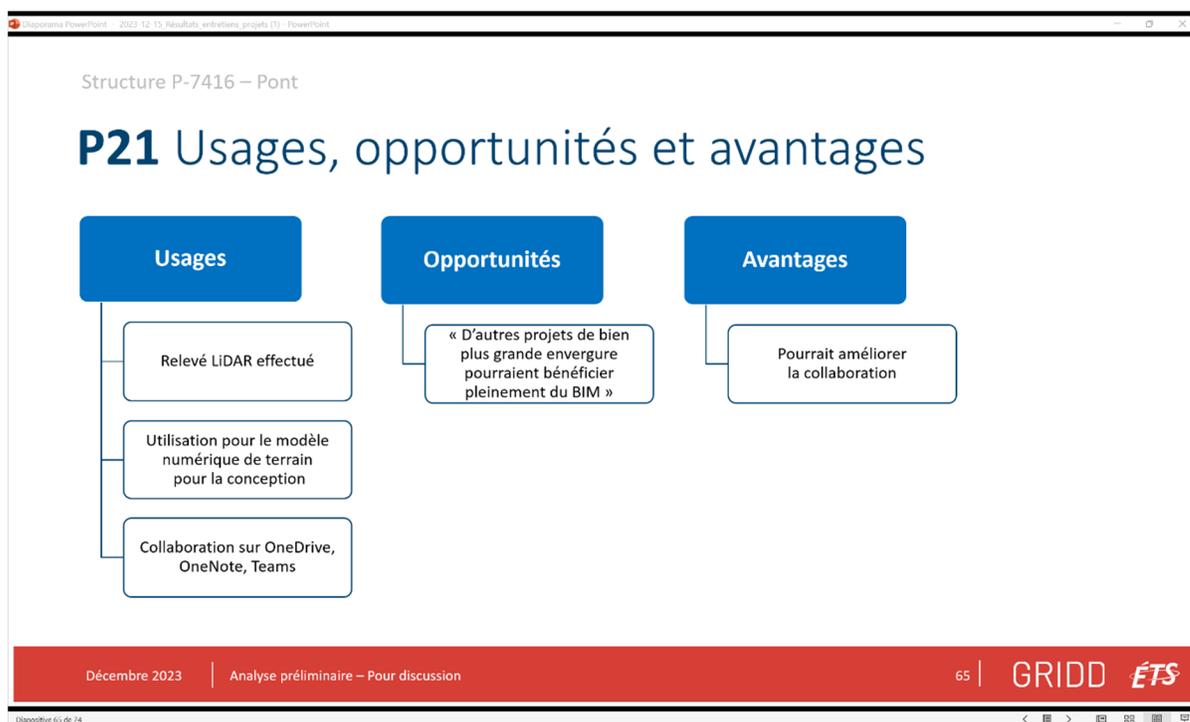


Figure-A IV-65 Rapport des entretiens passés, page 65

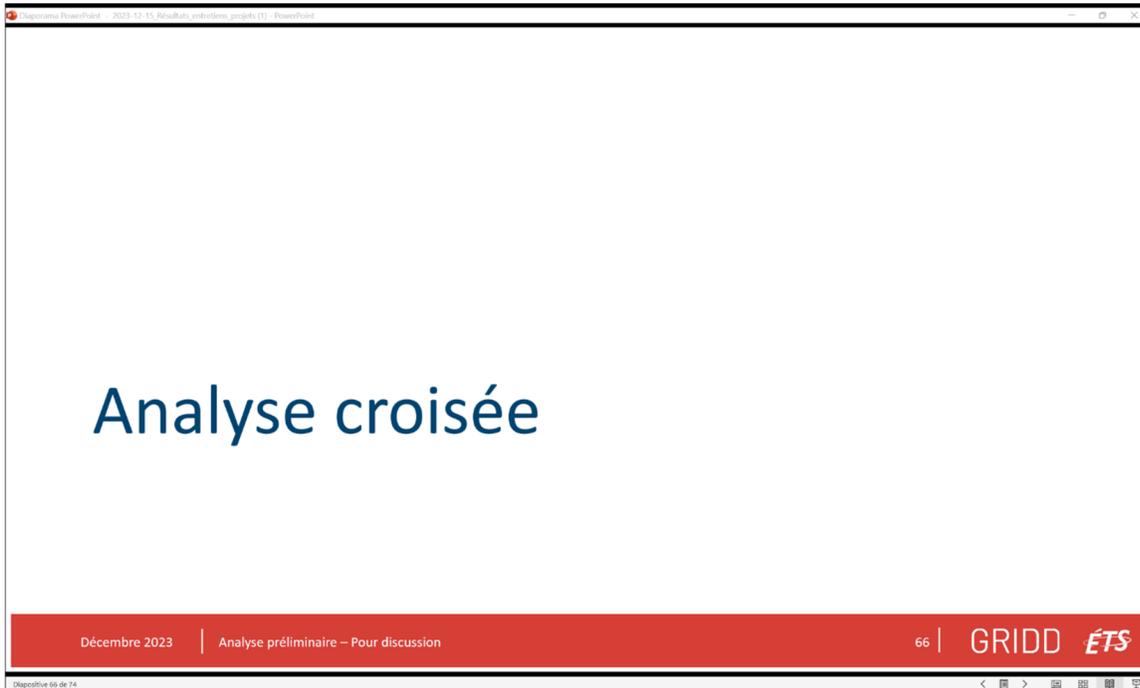


Figure-A IV-66 Rapport des entretiens passés, page 66

Analyse croisée

Usages du BIM et des technologies

Usages du BIM et des technologies numériques	P1	P2	P3	P4	P5	P6-7	P8	P9-10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	
Acquisition de l'existant (LIDAR 3D)	x		x		x		x		x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
Modèle numérique de terrain	x		x						x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
Analyses environnementales	x							x												
Analyses hydrauliques	x																			
Analyses géotechniques	x																			
Simulations 3D									x											
Gestion de la circulation	x																			
Génération de plans 2D			x																	
Modélisation 3D	x			x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x			x
Visualisation 3D	x					x		x	x				x		x					
BIM 4D	x		x																	
Détection et gestion des interférences			x												x					
Utilisation d'une plateforme collaborative	x			x				x	x					x		x	x			x
Coordination 3D	x			x																
Modèle tel que construit			x																	
Exploitation et gestion des actifs	x		x	x										x						

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 67 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-67 Rapport des entretiens passés, page 67

Analyse croisée

Avantages

Avantages de l'utilisation du BIM et/ou des technologies dans les projets	P1	P2	P3	P4	P5	P6-7	P8	P9-10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
Mieux compréhension du projet	x			x															
Économies de temps et des coûts	x																		
Mieux contrôle des coûts et échéanciers	x			x					x	x									
Amélioration de la gestion des modifications	x													x					
Demandes d'autorisations facilitées	x																		
Mieux gestion et coordination de l'information (y compris éviter les pertes de données)						x		x				x					x		
Amélioration des interactions/collaboration entre les pp						x							x			x	x		x
Amélioration de la planification/suivi du projet						x			x										
Amélioration de l'acquisition de l'existant							x			x	x								
Centralisation de l'information								x					x						
Support d'aide à la décision									x									x	
Aide à la validation des solutions de conception									x									x	x
Anticipation des risques									x										
Mieux visualisation du projet												x	x		x			x	
Gain en efficacité													x	x					
Aide à la détection des conflits																		x	
Aide à l'inspection																		x	
Automatisation de la mise à jour du projet																		x	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 68 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-68 Rapport des entretiens passés, page 68

Analyse croisée

Enjeux et défis

Enjeux et défis de l'adoption du BIM	P1	P2	P3	P4	P5	P6-7	P8	P9-10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
Différents niveaux de maturité du BIM entre les parties								x											
Disposer de matériels et logiciels informatiques adaptés	x											x	x	x				x	
Disposer de technologies d'acquisition de haute précision										x								x	x
Manipulation de fichiers volumineux								x					x						
Résistance au changement	x									x	x								
Réticence à maîtriser de nouvelles technologies	x																		
Réussir la transition BIM sans perte de temps				x															
Défi d'alléger la transition vers le BIM											x								
Compréhension de la valeur ajoutée du BIM par les équipes											x	x							

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 69 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-69 Rapport des entretiens passés, page 69

Analyse croisée

Enjeux et défis (suite)

Enjeux et défis de l'adoption du BIM	P1	P2	P3	P4	P5	P6-7	P8	P9-10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
Temps de mise en œuvre du BIM très long	x																		
Qualification de la main d'œuvre										x				x	x				
Manque de personnel pour le transfert des connaissances, car processus très long																		x	
Gestion des délais créés par les demandes d'autorisation du grand nombre de pp															x				x
Intégration de toutes les équipes dans le processus BIM	x																		
Défi de coopération et collaboration effective avec les parties externes						x		x							x	x	x		
Gestion optimale de l'information/ des documents						x		x	x				x			x			x
Enjeu de sécurité de l'information générée														x		x			
Règlementations en vigueur qui peuvent être un frein																		x	

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 70 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-70 Rapport des entretiens passés, page 70

Analyse croisée

Attentes et besoins

Attentes et besoins liés à l'adoption du BIM	P1	P2	P3	P4	P5	P6-7	P8	P9-10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
Besoin de Documentation pour amorcer le virage						x													
Besoin de structure pour amorcer le virage						x													
Besoin de sensibilisation et de communication sur la valeur ajoutée tangible du BIM											x								
Besoins de communication massive sur ce qu'est le BIM dans les DT												x							
Formation adaptée des équipes														x					
Nouveaux rôles pour la gestion BIM														x					
Avoir des équipements plus performants														x					

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 71 | GRIDD ÉTS

Figure-A IV-71 Rapport des entretiens passés, page 71

Analyse croisée

Opportunités

Opportunités pour le BIM dans les projets	P1	P2	P3	P4	P5	P6-7	P8	P9-10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
Création de jumeau numérique des actifs	x	x			x	x			x										
Inspections de terrain à l'aide de drones	x																		
Optimisation de la phase d'exploitation / maintenance					x	x		x	x					x					
Association BIM – GIS, notamment pour les inspections						x													
Implantation de la démarche BIM pour des projets encore à l'étude							x												
Utilisation des visuels 3D pour communication du projet aux locaux							x												
Réalisation de simulations environnementales à l'aide d'outils BIM intégrés							x												
Réalisation de l'interpolation géotechnique à l'aide d'outils BIM intégrés							x										x		
Réduction de l'écart industrie vs DO grâce à la vulgarisation du BIM								x											

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 72 | GRIDD ÉTS

Diapositive 72 de 74

Figure-A IV-72 Rapport des entretiens passés, page 72

Analyse croisée

Opportunités (suite)

Opportunités pour le BIM dans les projets	P1	P2	P3	P4	P5	P6-7	P8	P9-10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
Mise en place de systèmes de GMAO									x										
Harmonisation des nouveaux outils technologiques avec ceux déjà utilisés au MTMD									x										
Automatisation des processus										x			x						
Suivi de terrassement par relevés 3D aériens													x						
BIM pour la préfabrication															x				
Support pour la pérennisation de l'information de projet																x			
Validation des solutions de conception dès l'étude d'opportunité																x			
Intégration du MNT 3D au modèle de conception 3D																	x		

Décembre 2023 | Analyse préliminaire – Pour discussion 73 | GRIDD ÉTS

Diapositive 73 de 74

Figure-A IV-73 Rapport des entretiens passés, page 73



Figure-A IV-74 Rapport des entretiens passés, page de fin

ANNEXE V

DESCRIPTION DES AXES DE LA FDR-BIM GOUV 2023

Axe 1 : Pilotage et coordination

Cet axe se focalise sur le pilotage et la coordination des activités de la Feuille de route, impliquant l'identification de ressources et d'organismes ainsi que la consolidation de collaborations. Les retombées attendues sont une mise en œuvre efficace de la Feuille de route et un suivi rigoureux du plan d'action, garantissant une gestion bien encadrée.

- **Activité 1.1 – Ressources Humaines et Acquisition Des Talents :** Cette activité vise l'identification des responsables et des champions en proportion adéquate, tout en sécurisant les ressources nécessaires, financières, humaines, etc., pour la mise en œuvre de la Feuille de route. Chaque donneur d'ouvrage public doit identifier au moins un responsable et un champion, et mobiliser les ressources requises pour atteindre les objectifs de la Feuille de route.
- **Activité 1.2 – Partenariats et Communauté :** Cette activité vise à établir des partenariats stratégiques avec des acteurs de l'enseignement, de l'industrie et des organismes gouvernementaux aux niveaux local, national et international. Cette collaboration vise à créer et diffuser des connaissances, des outils et des pratiques pour soutenir les objectifs de la Feuille de route BIM. L'objectif final est de mettre en place un réseau robuste de partenaires favorisant la création et le partage de connaissances dans le domaine de la numérisation des actifs bâtis.
- **Activité 1.3 – Mesure et Suivi de la Performance :** L'activité 1.3 vise à établir des paramètres et des mécanismes pour mesurer et suivre la performance, la capacité et la maturité organisationnelles liées à la mise en œuvre de la Feuille de route BIM. L'objectif est d'identifier des indicateurs clés de performance clairs et compréhensibles tout en développant une plateforme d'étalonnage. Cette plateforme, idéalement gérée par un organisme neutre et indépendant, permettra aux acteurs du virage numérique de mesurer et de suivre leur progression de manière efficace.

Axe 2 : Mobilisation, Responsabilisation et Montée en Compétence des Parties Prenantes

Cet axe vise à mobiliser et accompagner toutes les parties prenantes dans la mise en œuvre de la Feuille de route BIM. Les retombées attendues incluent des parties prenantes engagées, compétentes et résilientes, capables d'évaluer et de suivre leur progression et leur performance, et de s'adapter dans le processus du virage numérique et de la mise en œuvre du BIM.

- **Activité 2.1 – Communications** : Cette activité se concentre sur l'élaboration d'un message clair et cohérent ainsi que sur la mise en place de canaux de communication efficaces pour encourager la mobilisation des parties prenantes. L'objectif est de communiquer de manière régulière et cohérente les orientations, les objectifs et les mécanismes de la mise en œuvre du BIM, tout en présentant la proposition de valeur du BIM adaptée aux différents actifs, phases de cycle de vie et types d'acteurs impliqués.
- **Activité 2.2 – Formation** : Cette activité se focalise sur le ciblage et le développement d'une offre de formation reconnue et certifiée, en collaboration avec les acteurs clés du domaine de l'enseignement. L'objectif est de répondre aux besoins des différentes parties prenantes impliquées dans le cycle de vie des actifs bâtis en développant une formation soutenue. Cette formation, alignée sur les normes et les meilleures pratiques, vise à certifier les individus et les organisations, assurant ainsi la cohérence, la reproductibilité et la qualité des services rendus.
- **Activité 2.3 – Accompagnement** : Cette activité vise à mettre en œuvre une approche holistique certifiée pour accompagner les parties prenantes dans le renforcement de leurs compétences en BIM et en gestion de l'information. Cet accompagnement, adapté aux besoins spécifiques des acteurs, sera disponible sur demande, aligné sur les différentes phases et orientations du déploiement du BIM. L'objectif ultime est de garantir une offre d'accompagnement certifiée, adaptée à la diversité des acteurs de la chaîne d'approvisionnement.

Axe 3 : Politiques, Contrats et Réglementation

Cet axe vise à identifier, réviser, améliorer et développer le cadre contractuel et réglementaire pour assurer la cohérence dans la mise en œuvre de la Feuille de route BIM. Il aspire également à créer un environnement favorable, soutenant ainsi des politiques claires et cohérentes, une réglementation facilitant l'application du BIM dans l'industrie, ainsi que des contrats clairs et complets pour promouvoir l'utilisation du BIM dans des écosystèmes collaboratifs.

- **Activité 3.1 – Mandats et Objectifs :** Cette activité vise à définir les paramètres encadrant les politiques et orientations du BIM pour soutenir la vision partagée et les objectifs de mise en œuvre. Elle a pour objectif d'assurer la légitimité et le plein potentiel du BIM grâce à une demande structurée et cohérente. Les résultats attendus incluent des mandats clairs pour l'approvisionnement en services de tous les donneurs d'ouvrage publics.
- **Activité 3.2 – Approvisionnement :** Cette activité a pour objectif de développer des mécanismes d'approvisionnement favorisant la collaboration pour tirer pleinement parti de la mise en œuvre du BIM. Elle vise à mettre en place des environnements de projets propices à la collaboration et à l'intégration des parties prenantes tels que le mode de réalisation de projet intégré (RPI), ou encore le mode de réalisation Conception-Construction Progressif (CCP). Les résultats attendus incluent des modes d'approvisionnement adaptés qui soutiennent la réalisation de projets à valeur ajoutée, permettant une mise en œuvre optimale du BIM.
- **Activité 3.3 – Contrats et Aspects Légaux :** Cette activité vise à développer des mécanismes contractuels et financiers adaptés aux nouveaux modèles d'affaires soutenus par le BIM. Son objectif principal est de réduire, voire éliminer, les obstacles liés aux enjeux contractuels, juridiques, et financiers, qui pourraient limiter le plein potentiel de la mise en œuvre du BIM. Les cibles incluent la création de documents contractuels spécifiquement adaptés à la réalité du travail collaboratif soutenu par le BIM.

Axe 4 : Processus, méthodes et flux de travail

Cet axe se focalise sur l'établissement, le perfectionnement et la réorganisation des pratiques, méthodes et flux de travail pour faciliter la mise en œuvre des orientations définies par la Feuille de route et le plan d'action. Les retombées escomptées incluent l'instauration de pratiques harmonisées, efficaces et largement adoptées. L'objectif est d'optimiser les approches de planification, de réalisation et d'exploitation, favorisant ainsi une création de valeur optimale pour le client, tout en soutenant un processus d'amélioration continue.

- **Activité 4.1 – Usages et Gestion de l'information :** l'activité a pour objectif d'identifier les usages et les pratiques de gestion de l'information afin d'atteindre les objectifs d'affaires sur l'ensemble du cycle de vie des actifs. Le but est de cataloguer et de définir un ensemble d'usages d'information, leurs objectifs, les activités qui les soutiennent, ainsi que les livrables, en vue d'harmoniser la demande liée au BIM. Les cibles visent l'identification et la formalisation d'un ensemble d'usages de modèles, soutenus par des exigences d'information claires.
- **Activité 4.2 – Rôles et Responsabilités :** l'objectif de cette activité est d'identifier, définir et formaliser les nouveaux rôles et responsabilités liés à la mise en œuvre du BIM sur l'ensemble du cycle de vie des actifs. Cela implique la création de nouveaux rôles et une reconfiguration des responsabilités existantes, notamment en ce qui concerne la gestion de l'information tout au long du cycle de vie des actifs bâtis. Les cibles incluent Des rôles, responsabilités et fonctions clairement identifiés et des fonctions de gestion de l'information clairement définis.
- **Activité 4.3 – Composantes De Modèles, Symboles Et Catalogues :** cette activité vise à développer et/ou aligner des bibliothèques de composantes de modèles intelligentes, basées sur des gabarits d'information de produits réutilisables. L'objectif est de créer un écosystème de bibliothèques d'objets numériques favorisant l'intégration de la chaîne d'approvisionnement par le numérique. Cela permettra d'assurer une qualité de données sur les produits tout au long du cycle de vie des actifs bâtis, avec des pratiques et des gabarits standardisés. Les cibles incluent des bibliothèques d'objets numériques largement adoptées, avec des pratiques et des

gabarits normalisés, un écosystème impliqué et engagé dans le cadre du BIM, favorisant la continuité du fil numérique de l'information de produits.

Axe 5 : Documentation et normalisation

Cet axe concerne la revue, l'adaptation, l'adoption, le développement et la mise à jour de normes, de guides et d'autres documents pour soutenir la mise en œuvre des orientations définies par la Feuille de route et par le plan d'action. Les retombées attendues à la suite de la réalisation des activités élaborées autour de cet axe sont la création de normes à jour, de documents et de guides pertinents, adaptables et amplement utilisés qui encadrent un travail efficace et de qualité.

- **Activité 5.1 – Exigences** : Cette activité vise à définir des exigences d'information spécifiques afin de répondre aux besoins des usages d'information ciblés, conformément à l'Activité 4.1. Elle consiste à établir des critères clairs et cohérents pour la demande et l'évaluation de l'information, aussi bien au niveau des organisations que des projets. Ces exigences guideront les échanges de données entre les parties prenantes des projets, assurant ainsi une compréhension commune des attentes en matière d'information.
- **Activité 5.2 – Guides** : L'objectif de cette activité est de créer des guides et des documents pour partager les meilleures pratiques, les techniques et les stratégies qui favorisent l'application réussie du BIM. Il s'agit de consigner les connaissances générées lors de la mise en œuvre du BIM et de les mettre à la disposition d'un large public. Ces guides serviront de référence aux ressources de formation et d'accompagnement, contribuant ainsi à la diffusion et à la gestion efficace des connaissances liées à la mise en œuvre du BIM.
- **Activité 5.3 – Normes** : Cette activité a pour but d'identifier, d'adapter, d'adopter ou de développer des normes, y compris les systèmes de classification, pour la création, l'utilisation et l'échange d'information dans le domaine du BIM. La normalisation des pratiques, processus, techniques et données est cruciale pour le succès de la mise en œuvre de la Feuille de route. Il s'agit de travailler sur le développement, l'adaptation

ou l'adoption de normes à un niveau national ou international. Ces normes, une fois établies, seront cataloguées, largement diffusées et mises en œuvre pour garantir une efficacité accrue dans tout le cycle de vie des actifs bâtis.

Axe 6 : Écosystème numérique

Cet axe concerne le développement et la mise en place d'un écosystème technologique qui soutient les pratiques, les méthodes et les flux de travail liés à la gestion des données, de l'information, de la modélisation et de la collaboration. Les retombées attendues à la suite de la réalisation des activités élaborées autour de cet axe sont la mise en place d'un écosystème numérique et informationnel fiable, efficace et à la fine pointe de la technologie, pour permettre aux équipes de projets de collaborer de façon efficiente et aux propriétaires d'actifs bâtis de centraliser les informations nécessaires tout au long du cycle de vie de leurs actifs.

- **Activité 6.1 – Systèmes d'Information existants** : L'activité vise à cartographier les écosystèmes numériques existants chez les donneurs d'ouvrage publics afin d'identifier les besoins et les axes prioritaires de développement. Cette démarche permettra de comprendre les capacités actuelles des systèmes d'information et de déterminer les nécessités pour moderniser l'infrastructure informatique. Les cibles incluent l'identification des besoins en systèmes d'information par une analyse approfondie des écosystèmes numériques des donneurs d'ouvrage publics.
- **Activité 6.2 – Technologies et Outils** : Cette activité a pour objectif d'identifier, adapter, adopter ou développer les technologies et les outils nécessaires à l'intégration de l'information tout au long du cycle de vie des actifs, en alignement avec les usages spécifiques. La diversité croissante d'outils nécessite une gestion attentive pour assurer leur interopérabilité et éviter les redondances. Il s'agit également de mettre en place des technologies favorisant l'intégration des données et de l'information sur l'ensemble du cycle de vie des actifs. Les cibles comprennent la catégorisation des outils et des technologies ainsi que l'identification de leurs fonctionnalités.
- **Activité 6.3 – Systèmes d'Information Collaboratifs** : Cette activité se concentre sur l'identification et l'établissement des exigences et des principes pour la mise en place

de plateformes collaboratives basées sur des formats ouverts et neutres. Les plateformes collaboratives, opérant dans un environnement infonuagique, permettent de stocker, partager et gérer l'information tout au long du cycle de vie des actifs. L'objectif ultime est de mettre en place un écosystème de collaboration informatique optimale, avec des cibles définissant les exigences et les fonctionnalités des environnements informationnels intégrés.

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbondati, F., Biancardo, S. A., Palazzo, S., Capaldo, F. S., & Viscione, N. (2020). I-BIM for existing airport infrastructures. *Transportation Research Procedia*, 45, 596-603. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.052>
- Arizona Department of Transportation. (2023). ADOT-Digital-Delivery-Implementation-Plan.pdf. Repéré à <https://azdot.gov/sites/default/files/2023-10/ADOT-Digital-Delivery-Implementation-Plan.pdf>
- AtkinsRéalis. (s.d.). Réseau express métropolitain (REM). *AtkinsRéalis*. [Corporate]. Repéré à <https://www.atkinsrealis.com/fr-fr/projects/reseau-express-metropolitain>
- Baldwin, M. (2019). *The BIM Manager: A Practical Guide for BIM Project Management*. Berlin, GERMANY : Beuth Verlag. Repéré à <http://ebookcentral.proquest.com/lib/etsmtl-ebooks/detail.action?docID=5789129>
- Bandara, W., Furtmueller, E., Gorbacheva, E., Miskon, S., & Beekhuyzen, J. (2015). Achieving Rigor in Literature Reviews: Insights from Qualitative Data Analysis and Tool-Support. *Communications of the Association for Information Systems*, 37. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.03708>
- BANE NOR. (2018). *Upcoming Projects- Infrastructure Construction Division*. Repéré à <https://www.banenor.no/globalassets/1-mapper-for-bildekarusell/nyhetssaker/2018/leverandordagen-2018/upcoming-projects-oct-2018-for-web.pdf>
- Barraza, P. (2023). Construction ahead of schedule for the I-80/I-380 systems interchange with all lanes set to open by fall. *Iowa City Press-Citizen*. Repéré à <https://www.press-citizen.com/story/news/local/2023/05/13/i-80i-380-interchange-construction-ahead-of-schedule/70200801007/>
- Bâtiment (CTB), C. T. du. (2021, 22 septembre). Le BIM d'Or 2021 prend son envol - Cahiers Techniques du Bâtiment (CTB). Repéré à <https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/le-bim-d-or-2021-prend-son-envol.53052>
- Bawono, A. A., von Schumann, C. M., & Lechner, B. (2021). Study of Building Information Modelling Implementation on Railway Infrastructure. Dans E. Toledo Santos & S. Scheer (Éds), *Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (Vol. 98, pp. 372-382). Cham : Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_26

- Bazin, A., Capo-Canellas, V., Capus, E., Dallier, P., Delahaye, V., Dominati, P., ... Taillé-Polian, S. (2020). *RAPPORT D'INFORMATION FAIT au nom de la commission des finances sur les coûts et le financement du Grand Paris Express* (Rapport No. 44). France. Repéré à <https://www.senat.fr/rap/r20-044/r20-0441.pdf>
- Bensalah, M. (2022). *BIM AU FERROVIAIRE - PROPOSITION DE PLAN D' ACTIONS PAR ANALYSE MULTICRITERE*.
- Bensalah, M., Elouadi, A., & Mharzi, H. (2018). INTEGRATING BIM IN RAILWAY PROJECTS: REVIEW & PERSPECTIVES FOR MOROCCO & MENA. *International Journal of Recent Scientific Research*, 9, 23398-23403.
- Bensalah, M., Elouadi, A., & Mharzi, H. (2019). Overview: the opportunity of BIM in railway. *Smart and Sustainable Built Environment*, 8(2), 103-116. <https://doi.org/10.1108/SASBE-11-2017-0060>
- Biancardo, S. A., Intignano, M., Viscione, N., Guerra De Oliveira, S., & Tibaut, A. (2021). Procedural Modeling-Based BIM Approach for Railway Design. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, e8839362. <https://doi.org/10.1155/2021/8839362>
- Biancardo, Salvatore Antonio, Viscione, N., Oretto, C., Veropalumbo, R., & Abbondati, F. (2020). BIM Approach for Modeling Airports Terminal Expansion. *Infrastructures*, 5, 41. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5050041>
- BIMe Initiative. (s.d.). BIM Dictionary. *BIM dictionary*. Repéré à <https://bimdictionary.com/en/building-information-modelling/2>
- BIMTRACK. (s.d.). AQI Étude de cas OpenBIM. Repéré à https://email.bimtrack.co/hubfs/Case%20Studies/FR/CS%20BIMTrack_AQI_OpenBIM%20FR.pdf?utm_campaign=2023%20BimTrack%20Case%20Studies&utm_medium=email&_hsmi=259880975&_hsenc=p2ANqtz--bZKwgexft6Z8iZgSrMeJPTf6zq-ThSV5q5hRZaGXi0zigpzINzDWkPXyfkUcwy_GKhggshJOb_POrI8gsdRjQzt74IhRY7G5f4O2MLTHgaWT_kQ&utm_content=259880975&utm_source=hs_automation
- Borrmann, A., Hochmuth, M., König, M., Liebich, T., & Singer, D. (2016). Germany's governmental BIM initiative – Assessing the performance of the BIM pilot projects. Repéré à <https://www.semanticscholar.org/paper/Germany%E2%80%99s-governmental-BIM-initiative-%E2%80%93-Assessing-Borrmann-Hochmuth/abda615eda49fb3c13cfa76743e530a610da9f22>

- Borrmann, André, Forster, C., Liebich, T., König, M., & Tulke, J. (2021). Germany's Governmental BIM Initiative – The BIM4INFRA2020 Project Implementing the BIM Roadmap. Dans E. Toledo Santos & S. Scheer (Éds), *Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (pp. 452-465). Cham : Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_31
- Bradley, A., Li, H., Lark, R., & Dunn, S. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction*, 71, 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.019>
- Bui, N., Merschbrock, C., Munkvold, B. E., & Lassen, A. K. (2018). An Institutional Perspective on BIM Implementation – a Case Study of an Intercity Railway Project in Norway. Dans *International Conference on Information Systems Development (ISD)*. Repéré à <https://aisel.aisnet.org/isd2014/proceedings2018/General/2>
- Cepa, J. J., Pavón, R. M., Alberti, M. G., Ciccone, A., & Asprone, D. (2023). A Review on the Implementation of the BIM Methodology in the Operation Maintenance and Transport Infrastructure. *Applied Sciences*, 13(5), 3176. <https://doi.org/10.3390/app13053176>
- Chong, H. Y., Lopez, R., Wang, J., Wang, X., & Zhao, Z. (2016). Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects. *Journal of Management in Engineering*, 32(6), 05016021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000460](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000460)
- Ciccone, A., Stasio, S. D., Asprone, D., Salzano, A., & Nicolella, M. (2022). Application of openBIM for the Management of Existing Railway Infrastructure: Case Study of the Cancellor–Benevento Railway Line. *Sustainability*, 14(4), 2283. <https://doi.org/10.3390/su14042283>
- CIFE-Stanford University. (s.d.). Professional VDC Education | CIFE | Center for Integrated Facility Engineering. *Stanford Engineering- Center for Integrated Facility Engineering*. Repéré à <https://cife.stanford.edu/education/professional-vdc-education>
- Colman, M. (2023, mai). L.A. METRO'S REGIONAL CONNECTOR TRANSIT PROJECT SET TO OPEN JUNE 16. *LA Metro*. Repéré à <https://www.metro.net/about/l-a-metros-regional-connector-transit-project-set-to-open-june-16/>
- Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., & Chen, S. S. (2018). Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction*, 94, 257-281. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.001>
- Dany, L. (2016). Analyse qualitative du contenu des représentations sociales. Belgique : (s.n.). Repéré à <https://amu.hal.science/hal-01648424>

- Djoudi, O., Lancien, N., & Tignon, G. (2019). *Relevés numériques - Thème 1 : Mise en perspective des pratiques - Nouvelles Technologies* (Rapport No. MINnD_TH01_UC00_03_Relevés_numeriques_026_2019). Paris, France : Modélisation des Informations Interopérales pour les Infrastructures Durables. Repéré à https://minnd.fr/wp-content/uploads/2023/07/MINnD_TH01_UC00_03_Relevés_numeriques_026_2018.pdf
- Ershadi, M., Jefferies, M., Davis, P., & Mojtahedi, M. (2021). Implementation of Building Information Modelling in infrastructure construction projects: a study of dimensions and strategies, *9*, 43-59. <https://doi.org/10.12821/ijispm090403>
- Federal Highway Administration. (2021, juin). Advancing BIM for Infrastructure: National Strategic Roadmap. Not Available. Repéré à <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/21064/index.cfm>
- Fellows, R., & Liu, A. (2003). *Research Methods for Construction* (Second). (S.l.) : (s.n.).
- France-Inflation.com. (s.d.). CALCULATEUR D'INFLATION de 1901 à 2023. *France-Inflation.com*. Repéré à https://france-inflation.com/calculateur_inflation.php
- G. W. Prime. (2020, 11 décembre). Use of Geospatial Technologies in Construction of New Champlain Bridge Corridor Proves Time Efficient. *Geospatial World*. Repéré à <https://www.geospatialworld.net/prime/case-study/aec/use-of-geospatial-technologies-in-construction-of-new-champlain-bridge-corridor-proves-time-efficient/>
- Ganao, B., & Loubar, S. (2023). BIM et structures linéaires sur le projet du REM : fondation d'un projet EPC. Communication présentée au Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les Ouvrages d'art, Québec. Repéré à https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/role_ministere/colloques-congres-conferences/colloques-ouvrages-art/Documents/29/BIM%20et%20structures%20lin%C3%A9aires%20sur%20le%20projet%20du%20REM%20%20fondation%20d%E2%80%99un%20projet%20EPC.pdf
- Gaur, S., & Tawalare, A. (2022). Challenges and Benefits of BIM Adoption in a Metrorail Project. Dans G. C. Marano, S. Ray Chaudhuri, G. Unni Kartha, P. E. Kavitha, R. Prasad, & R. J. Achison (Éds), *Proceedings of SECON'21* (Vol. 171, pp. 667-675). Cham : Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80312-4_56

- Gouvernement du Québec. (2023a). Feuille de route gouvernementale pour la modélisation des données des infrastructures (2021-2026). Repéré à https://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/infrastructures_publicques/Feuille_route_gouvernementale_BIM.pdf
- Gouvernement du Québec. (2023b). Pont de l'Île-aux-Tourtes – Maintien et reconstruction. *Gouvernement du Québec*. [Gouvernemental]. Repéré à <https://www.quebec.ca/transports/projets-routiers/montreal/pont-ile-aux-tourtes>
- Gouvernement du Québec. (2023c). Présentation du projet de réfection du tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine. *Gouvernement du Québec*. [Gouvernemental]. Repéré à <https://www.quebec.ca/transports/projets-routiers/montreal/tunnel-louis-hippolyte-la-fontaine/presentation-projet>
- Gouvernement du Québec. (2023d). Remplacement du tablier du pont de Québec. *Gouvernement du Québec*. [Gouvernemental]. Repéré à <https://www.quebec.ca/transports/projets-routiers/capitale-nationale/pont-quebec-remplacement-tablier>
- Groupe ADP. (s.d.). Réhabilitation du terminal 2B : un projet d'envergure. *Groupe ADP - Entre voisins*. Repéré à <https://entrevoisins.groupeadp.fr/projets/rehabilitation-du-terminal-2b-un-projet-denvergure/>
- Hands, M., & Morrice, D. (2018). Crossrail approach to NEC3. Crossrail Ltd. Repéré à <https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/crossrail-approach-to-nec3/>
- Hogge, B. (2023). Construction Manager/General Contractor Project Delivery - Construction Program Guide - Contract Administration - Construction - Federal Highway Administration. *FHWA*. [Governmental]. Repéré à <https://www.fhwa.dot.gov/construction/cqit/cm.cfm>
- Infrastructure Canada. (2015, 29 janvier). Infrastructure Canada - Convention relative au projet de corridor du nouveau pont pour le Saint-Laurent. Repéré à <https://www.infrastructure.gc.ca/nbsl-npsl/agreement-entente-fra.html#section2a>
- Institut National de la Santé Publique du Québec. (2022, 6 juin). Infrastructures routières | INSPQ. *Institut national de santé publique du Québec*. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/securite-prevention-de-la-violence-et-des-traumatismes/prevention-des-traumatismes-non-intentionnels/dossiers/infrastructures-routieres>

- Iowa Department of transportation. (2022). *Developing a Road Map for Digital Delivery and Digital Twin in Iowa SPR-RE22(008)-8H-00*. Repéré à <https://publications.iowa.gov/41902/>
- Kaewunruen, S., AbdelHadi, M., Kongpuang, M., Pansuk, W., & Remennikov, A. M. (2023). Digital Twins for Managing Railway Bridge Maintenance, Resilience, and Climate Change Adaptation. *Sensors*, 23(1), 252. <https://doi.org/10.3390/s23010252>
- Kenley, R., Harfield, T., & Behnam Manesh, A. (2016). BIM Interoperability Limitations: Australian and Malaysian Rail Projects. Dans *MATEC Web of Conferences* (Vol. 66, p. 00102). <https://doi.org/10.1051/mateconf/20166600102>
- Krippendorff, K. (2004). *Content analysis: an introduction to its methodology* (2. ed.,). Thousand Oaks, Calif. : Sage Publ.
- Kumar, S., & Sarkar, S. (2020). A Case Study of the Otterspool Railway Station, UK to Measure the Benefit of BIM. *International Journal of Engineering Research*, 8(10).
- Kurwi, S., Demian, P., Blay, K. B., & Hassan, T. M. (2021). Collaboration through Integrated BIM and GIS for the Design Process in Rail Projects: Formalising the Requirements. *Infrastructures*, 6(4), 52. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6040052>
- Kurwi, S., Demian, P., & Hassan, T. M. (2017). Integrating BIM and GIS in railway projects: A critical review. Dans *33rd Annual Association of Researchers in Construction Management Conference, ARCOM 2017, September 4, 2017 - September 6, 2017* (pp. 45-53). Cambridge, United kingdom : Association of Researchers in Construction Management.
- L'usage des maquettes BIM par la Société du Grand Paris*. (2021, 10 juin). Repéré à <https://www.youtube.com/watch?v=VqJTRmRLvmE>
- Lysebo, K. (2016). BIM Success for InterCity Railway Setting the Standard for Model-Based Delivery. Autodesk Université. Repéré à https://static.au-uw2-prd.autodesk.com/handout_21354_TR21354_20Lysebo_20AU2016.pdf
- Main Roads Australia. (2012). Main Roads Annual Report 2012 : Upgrading Great Eastern Highway Innovatively. Repéré à https://annualreports.mainroads.wa.gov.au/AR-2012/performance/case_studies/upgrading_great_eastern_highway_innovatively.html
- Mallela, J., Blackburn, A., Roger, G., Kennerly, M., Petros, K., & Yew, C. (2021). *Building Information Modeling (BIM) Practices in Highway Infrastructure* (Rapport No. FHWA-PL-21-024). USA : Federal Highway administration (FHWA). Repéré à https://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl21024/fhwa_pl21024.pdf?_gl=1*1qmoq60*_ga*Njm4NzQzNjYxLjE2OTAzOTY1OTQ.*_ga_VW1SFWJKBB*MTY5MzYwMzMzNy42LjEuMTY5MzYwMzM3OC4wLjAuMA..

- Matejov, A., & Šestáková, J. (2021). The Experiences with utilization of BIM in railway infrastructure in Slovak Republic and Czech Republic. *Transportation Research Procedia*, 55, 1139-1146. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.084>
- Miceli Junior, G., Pellanda, P. C., & Reis, M. M. (2019). Implementation Framework for BIM Adoption and Project Management in Public Organizations. Dans *2019 Proceedings of the 36th ISARC* (pp. 114-121). Banff, Canada. <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0016>
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative Data Analysis: An expanded Sourcebook* (Secon Edition). USA : (s.n.).
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable. (2023a). Information sur le réseau routier - Transports et Mobilité durable Québec. *Ministère des Transports et de la Mobilité durable*. Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/info-reseau-routier/Pages/information-sur-le-reseau-routier.aspx>
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable. (2023b). Infrastructures aéroportuaires - Transports et Mobilité durable Québec. *Ministère des Transports et de la Mobilité durable*. [Gouvernemental]. Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/structures-infrastructures/infrastructures-aeroportuaires/Pages/infrastructures-aeroportuaires.aspx>
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable. (2023c). Infrastructures ferroviaires - Transports et Mobilité durable Québec. *Ministère des Transports et de la Mobilité durable*. [Gouvernemental]. Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/structures-infrastructures/infrastructures-ferroviaires/Pages/infrastructures-ferroviaires.aspx>
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable. (2023d). Infrastructures portuaires - Transports et Mobilité durable Québec. *Ministère des Transports et de la Mobilité durable*. [Gouvernemental]. Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/structures-infrastructures/infrastructures-portuaires/Pages/infrastructures-portuaires.aspx>
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable. (2023e). Ouvrages d'art - Transports et Mobilité durable Québec. *Ministère des Transports et de la Mobilité durable*. [Gouvernemental]. Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/structures/ouvrages-art/Pages/ouvrages-art.aspx>
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable. (2023f). Projets et infrastructures - Transports et Mobilité durable Québec. *Ministère des Transports et de la Mobilité durable*. Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/pages/projets-infrastructures.aspx>

- Mitchell, A., Williges, C., & Sarah Henly-Thomas. (2023). *Lifecycle BIM for Infrastructure: A Business Case for Project Delivery and Asset Management*. (S.l.): (s.n.). <https://doi.org/10.17226/26731>
- Nasri, V., Vovou, T., & Jeon, K. (2020). BIM-Based Design of Underground Works for the Réseau Express Métropolitain (REM) Project in Canada. Dans *ITA Library* (Vol. 46). Kuala Lumpur, Malaysia. Repéré à <https://library.ita-aites.org/wtc/1832-bim-based-design-of-underground-works-for-the-reseau-express-metropolitain-rem-project-in-canada.html>
- Neves, J., Sampaio, Z., & Vilela, M. (2019). A Case Study of BIM Implementation in Rail Track Rehabilitation. *Infrastructures*, 4(1), 8. <https://doi.org/10.3390/infrastructures4010008>
- Nuttens, T., Breuck, V., Cattoor, R., & Hemeryck, I. (2018). Using BIM models for the design of large rail infrastructure projects: key factors for a successful implementation. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13. <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N1-73-83>
- Pasetto, M., Giordano, A., Borin, P., & Giacomello, G. (2020). Integrated railway design using Infrastructure-Building Information Modeling. The case study of the port of Venice. *Transportation Research Procedia*, 45, 850-857. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.084>
- Pennsylvania Department of Transportation. (2020). Final Strategic Plan V1.0.pdf. Repéré à <https://www.penndot.pa.gov/ProjectAndPrograms/3D2025/Documents/Final%20Strategic%20Plan%20V1.0.pdf>
- Poirier, E. A., Staub-French, S., Whitell, M., Shahi, A., & Dadmehr, N. (2022). *Digital Transformation in the Canadian Built Asset Industry. Priorities for BIM Policy, Standardization, and Guidance*. Toronto, ON.: Canadian Standards Association. Repéré à <https://www.csagroup.org/article/research/digital-transformation-in-the-canadian-built-asset-industry/>
- Poirier, É., Reumont, M., Lapalme, J., Pavard, A., Benabderramane, K., & Doume Ekale, M. (2023a). *Axe 1 Rapport de diagnostic préliminaire: Résultat de l'analyse du contexte de conception du cadre de déploiement*. GRIDD-ETS.
- Poirier, É., Reumont, M., Lapalme, J., Pavard, A., Benabderramane, K., & Doume Ekale, M. (2023b). *Axe 1 Cadre de diagnostic*. GRIDD-ÉTS.
- POLE-EMPLOI. (s.d.). L'infrastructure ferroviaire. *POLE-EMPLOI.FR*. Repéré à <https://www.pole-emploi.fr/actualites/le-dossier/transport-et-logistique/transport-ferroviaire-1/linfrastructure-ferroviaire.html>

- Polyzos, S., & Tsiotas, D. (2020). THE CONTRIBUTION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURES TO THE ECONOMIC AND REGIONAL DEVELOPMENT: A REVIEW OF THE CONCEPTUAL FRAMEWORK. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 15, 5-23.
- Prime, G. W. (2021, 6 janvier). BIM and Common Data Environment on the LA Regional Connector Transit Corridor Project. *Geospatial World*. Repéré à <https://www.geospatialworld.net/prime/case-study/aec/bim-and-common-data-environment-on-the-la-regional-connector-transit-corridor-project/>
- Priya, A. (2021). Case Study Methodology of Qualitative Research: Key Attributes and Navigating the Conundrums in Its Application. *Sociological Bulletin*, 70(1), 94-110. <https://doi.org/10.1177/0038022920970318>
- Ravani, B., Donohoe, S., Shams, A., & Yen, K. (2020). *Developing a Strategic Roadmap for Caltrans Implementation of Virtual Design Construction/Civil Integrated Management* (Rapport No. UCD-ARR-20-02-29-01). USA : California Department of Transportation. Repéré à <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/research-innovation-system-information/documents/final-reports/ca20-3178-finalreport-allly.pdf>
- Reese, J. (2020). *I-80 EASTBOUND RAMPS AT I-380* (Rapport No. FHWA-HIF-20-063). USA : Federal Highway administration (FHWA). Repéré à https://www.fhwa.dot.gov/construction/bim/pdfs/fhwa_hif_20_056.pdf
- REM. (2021, 22 avril). 5 ans en 5 cartes : l'évolution du REM depuis 2016 | REM. *REM*. Repéré à <https://rem.info/fr/actualites/5-ans-en-5-cartes>
- REM. (2023, 13 septembre). Réseau express métropolitain : Mise à jour du projet. Repéré à <https://rem.info/fr/communiques/mise-jour-du-projet-2023>
- REM. (s.d.). Principaux partenaires. *REM*. Repéré à <https://rem.info/fr/principaux-partenaires>
- 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* (1^{re} éd.). (S.l.) : Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Samimpay, R., & Saghatforoush, E. (2020). Benefits of Implementing Building Information Modeling (BIM) in Infrastructure Projects. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 10, 123-140. <https://doi.org/10.2478/jepm-2020-0015>
- Services Québec. (s.d.). Fiche du terme : Infrastructure aéronautique. *Thésaurus de l'activité gouvernementale*. [Gouvernemental]. Repéré à <https://www.thesaurus.gouv.qc.ca/tag/terme.do?id=6831>

- Sherry, J. (2018). Digital engineering enables multinational input on Bergen's light rail extension, Norway. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering*, 171(5), 49-56. <https://doi.org/10.1680/jcien.17.00025>
- Shin, M. H., Lee, H. K., & Kim, H. Y. (2018). Benefit–Cost Analysis of Building Information Modeling (BIM) in a Railway Site. *Sustainability*, 10(11), 4303. <https://doi.org/10.3390/su10114303>
- Smith, S. (2014). Building information modelling – moving Crossrail, UK, forward. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law*, 167(3), 141-151. <https://doi.org/10.1680/mpal.13.00024>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Société du Grand Paris. (2021). CHARTE BIM DE LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS. Repéré à https://www.societedugrandparis.fr/sites/default/files/2022-11/pm_1_144_144824-13yyyuvq7e.pdf
- Stantec. (2018). Agrandissement et Réaménagement à L'Aéroport International Jean-Lesage de Québec. Repéré à https://www.canadianconsultingengineer.com/awards/pdfs/2018/B-09_StantecQuebecCityAirport.pdf
- Suchocki, M. (2017). THE BIM-FOR-RAIL OPPORTUNITY (pp. 37-44). Communication présentée au BIM 2017, Alicante, Spain. <https://doi.org/10.2495/BIM170041>
- Taylor, M. (2018). Crossrail Project: Application of BIM (Building Information Modelling) and Lessons Learned. Crossrail Ltd. Repéré à <https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/crossrail-project-application-of-bim-building-information-modelling-and-lessons-learned/>
- TEKLA. (s.d.). Randselva Bridge. *Tekla*. Repéré à <https://www.tekla.com/bim-awards/randselva-bridge>
- TOLMER, C.-E., GUIZOL, M., BENNING, P., DOLO, J.-M., RATSAVONG, K., AKBAS, J., ... NGO BIBINBE, J. (2023, avril). GUIDE USAGES BIM. Fédération Nationale des Travaux Publics. Repéré à https://www.fntp.fr/sites/default/files/content/2023.04_guide_usages_bim_gt2_bimia_dans_les_tp.pdf
- Transport Committee. (2020). Crossrail: The project at a glance. Repéré à https://www.london.gov.uk/sites/default/files/crossrail_-_project_at_a_glance.pdf

- Ulvestad, Ø., & Vieira, T. (2021). e-BrIM. *Randselva Bridge: Planning and Building a 634m Long Bridge Solely Based on BIM Models*, (e-mostySept21). Repéré à <https://e-mosty.cz/wp-content/uploads/e-mosty-Sept21.pdf>
- V1 Media & Autodesk. (2015). HOW BIM CHANGES THE GAME FOR TRANSPORTATION. *Autodesk*, 04(15), 8.
- Vallée, P. (2016). Plus de 275 M\$ pour agrandir l'Aéroport Jean-Lesage. *Les Affaires*. Repéré à <https://www.lesaffaires.com/dossier/des-chantiers-dans-les-delaits-et-les-budgets/plus-de-275-m-pour-agrandir-l-aeroport-jean-lesage/589588>
- van Eldik, M. A., Vahdatikhaki, F., dos Santos, J. M. O., Visser, M., & Doree, A. (2020). BIM-based environmental impact assessment for infrastructure design projects. *Automation in Construction*, 120, 103379. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103379>
- Wang, G., & Zhang, Z. (2021). BIM implementation in handover management for underground rail transit project: A case study approach. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 108, 103684. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103684>
- Wood, N. (2020). *THE DIMENSIONS OF BIM FOR INFRASTRUCTURE* (Rapport No. FHWA-HIF-20-056). USA : Federal Highway administration (FHWA). Repéré à https://www.fhwa.dot.gov/construction/bim/pdfs/fhwa_hif_20_056.pdf
- XE. (2023). Trusted Global Currency Converter & Money Transfer Solutions. Repéré à <https://www.xe.com/currencyconverter/convert/?Amount=389500000&From=USD&To=CAD>
- Yelda, T. (2020). *HYBRID APPROACH TO BIM IN IOWA* (Rapport No. FHWA-HIF-20-084). USA : Federal Highway administration (FHWA). Repéré à https://www.fhwa.dot.gov/construction/bim/pdfs/fhwa_hif_20_056.pdf
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods* (Third Edition). USA : SAGE.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: design and methods* (Sixth edition). Los Angeles : SAGE.
- Zhou, M., Tang, Y., Jin, H., Zhang, B., & Sang, X. (2021). A bim-based identification and classification method of environmental risks in the design of beijing subway. *Journal of Civil Engineering and Management*, 27(7), 500-514. <https://doi.org/10.3846/jcem.2021.15602>