

Vers un jumeau numérique pour les villes : cadre stratégique
et organisationnel de transformation numérique
des actifs d'infrastructures urbaines

par

NAWEL LAFIOUNE

THÈSE PAR ARTICLES PRÉSENTÉE À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE
SUPÉRIEURE COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DU
DOCTORAT EN GÉNIE
Ph. D.

MONTREAL, LE 07 AVRIL 2023

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

©Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

PRÉSENTATION DU JURY

CETTE THÈSE A ÉTÉ ÉVALUÉE

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

Mme Michèle St-Jacques, ing., Ph.D., Professeure et directrice de thèse
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Érik A. Poirier, Ph.D., Professeur et codirecteur de thèse
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Tony Wong, ing., Ph.D. Professeur et président du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Adel Francis, ing., Ph.D., Professeur et membre du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Amar Khaled, ing., Ph.D., Professeur et membre du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

Mme Anne Dony, Ph.D, enseignant-chercheur ESTP Paris
Jury externe indépendant

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

LE 01 MARS 2023

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

À ma directrice de recherche, Prof. Michèle St-Jacques, mes sincères remerciements pour votre patience, confiance et soutien tout au long de ma recherche. Merci de m'avoir poussée à accomplir autant en si peu de temps et de m'avoir permis de dépasser mes limites. Vous êtes une inspiration pour moi par vos accomplissements.

Je remercie mon co-directeur de recherche, Prof. Érik Poirier, à qui je dois son aide, son support et ses bons conseils. Grâce à vous, j'ai su développer mes aptitudes dans la recherche, je vous en serai toujours très reconnaissante.

J'aimerais remercier :

- Un grand Monsieur « Christian Boily », tu m'as tellement appris et soutenu.
- L'École de technologie supérieure, spécifiquement les bibliothécaires, et le directeur du département Génie de la construction, M. Yannic Ethier pour son encouragement ;
- Toutes les villes québécoises ayant répondu au sondage et aux entrevues et toutes les personnes qui ont sollicité leurs réseaux pour promouvoir les entrevues et le sondage, spécifiquement Lila Touahria et Catherine Jobin ;
- Mme Marie-Claude Desrochers, directrice du département Travaux publics et M. Patrice Boileau, Directeur Général de la ville de Beaconsfield et à tout le personnel ;
- Le Centre d'Expertise et de Recherche en Infrastructures Urbaines (CERIU), l'Association des directeurs des Municipalités du Québec (ADMQ), l'Association des Ingénieurs Municipaux du Québec (AIMQ) Merci pour votre promotion et/ou publication du sondage ;
- Anaïs Desmarest, ta présence à mes côtés m'a été un grand appui ;
- Emmanuelle Nonirit et toute l'équipe du laboratoire GRIDD ;

Ma profonde gratitude à ma famille, spécialement à toi Amira Boukertouta, tous mes amis, spécialement Karima Djaiz et Christine Richard, et à toute personne qui m'a supportée, de près ou de loin, à travers cette longue épreuve.

Vers un jumeau numérique pour les villes : cadre stratégique et organisationnel de transformation numérique d'actifs d'infrastructures urbaines

Nawel LAFIOUNE

RÉSUMÉ

Les municipalités font face à de nombreux défis pour maximiser la valeur des actifs qu'elles offrent à leurs citoyens et pour être en première ligne des préoccupations en matière de résilience et de durabilité. L'utilisation de la technologie, des processus numériques et des initiatives peut aider les villes à améliorer la planification, à optimiser les travaux et à fournir de meilleurs services aux citoyens. Cependant, cette approche implique une éventuelle transformation numérique de l'organisation municipale et de ses activités de gestion d'actifs. Les municipalités ont du mal à suivre le rythme des changements transformateurs nécessaires pour aligner leurs activités sur cette nouvelle ère numérique en évolution. Cette recherche longitudinale vise à encadrer la transformation numérique au sein des villes et des municipalités.

La recherche fait comprendre la ville, ses composantes et le lien entre elles, et identifie les approches, processus et outils technologiques qui peuvent aider à une saine gestion du cycle de vie des actifs des infrastructures urbaines.

Les obstacles et les défis à la transformation numérique des municipalités ainsi que les cadres de transformation numérique existants sont déterminés à travers une revue systématique de la littérature. Cette revue de la littérature mène à l'élaboration d'un cadre pour aider les villes à améliorer leur gestion d'actifs tout en ayant une transformation numérique structurée. Ce cadre théorique a été validé par des ateliers auprès de deux grandes villes canadiennes (Poirier & Lafioune, 2021). Parallèlement, d'autres travaux ont été entrepris pour opérationnaliser, étendre et valider davantage le cadre. Ainsi, une enquête a été menée auprès de 44 municipalités québécoises et des entrevues ont été menées auprès de 13 municipalités de différentes tailles. Le cadre ainsi développé a été adapté au contexte particulier de la ville de Beaconsfield.

Les résultats de ces études soulignent la nécessité d'un cadre de transformation numérique dédié aux municipalités en raison de leur contexte particulier, de leur rôle et de leur proximité avec les citoyens. Le cadre théorique développé comporte 22 éléments qui sont répartis en 6 catégories. Par son application, le cadre agit comme un guide et un outil d'analyse qui aide à identifier et à cibler, réduire et/ou éliminer les principaux problèmes entravant la transformation numérique des municipalités. Le cadre arrime les activités de la gestion des actifs et la transformation numérique des villes. Les résultats démontrent que la gestion des données est l'enjeu principal. En fait, les villes demeurent réticentes à une transformation numérique structurée et cette réticence engendre des initiatives fragmentées. Le faible niveau de maturité numérique s'accroît. La thèse met en lumière le manque de ressources humaines, d'expertises et de formations appropriées pour supporter la transformation numérique des villes.

Mots-clés : Transformation numérique, municipalité/ville, gouvernement, obstacles et défis, infrastructures urbaines, gestion des actifs.

Towards a digital twin for cities: strategic and organizational framework for the digital transformation of urban infrastructure assets

Nawel LAFIOUNE

ABSTRACT

Municipalities face many challenges in maximizing the value of the assets they provide to their citizens and in being at the forefront of resilience and sustainability concerns. The use of technology, digital processes and initiatives can help cities improve planning, optimize works and provide better services to citizens. However, this approach implies a possible digital transformation of the municipal organization and its asset management activities. Municipalities are struggling to keep pace with the transformative changes needed to align their operations with this evolving new digital age. This longitudinal research aims to frame the digital transformation within cities and municipalities.

The research builds understanding of the city, its components and the connection between them, and identifies technological approaches, processes and tools that can assist in sound life cycle management of urban infrastructure assets.

Barriers and challenges to municipal digital transformation as well as existing digital transformation frameworks are determined through a systematic literature review. This literature review leads to the development of a framework to help cities improve their asset management while having a structured digital transformation. This theoretical framework was validated by workshops in two major Canadian cities (Poirier & Lafioune, 2021). At the same time, further work has been undertaken to operationalize, extend and further validate the framework. Thus, a survey was conducted among 44 Quebec municipalities and interviews were conducted with 13 municipalities of different sizes. The framework developed was adapted to the particular context of the city of Beaconsfield.

The results of these studies highlight the need for a digital transformation framework dedicated to municipalities due to their particular context, role and proximity to citizens. The theoretical framework developed comprises 22 elements which are divided into 6 categories. Through its application, the framework acts as a guide and an analytical tool that helps to identify and target, reduce and/or eliminate the main problems hindering the digital transformation of municipalities. The framework aligns the activities of asset management and the digital transformation of cities. The results show that data management is the main issue. In fact, cities remain reluctant to a structured digital transformation and this reluctance leads to fragmented initiatives. The low level of digital maturity is increasing. The thesis highlights the lack of human resources, expertise and appropriate training to support the digital transformation of cities.

Keywords: Digital transformation, municipality/city, government, barriers and challenges, urban infrastructure, asset management.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 MÉTHODOLOGIE ET MÉTHODES DE TRAVAIL	13
1.1 Approche de la recherche.....	14
1.1.1 Design Science Research	14
1.1.2 Action Research et Action Design Research	17
1.1.3 Modèle d'approches intégrées suivi par la recherche doctorale	20
1.1.4 Validation de la recherche doctorale.....	23
1.2 Méthodes de collecte des données de la recherche.....	28
1.2.1 Sondage.....	28
1.2.2 Entrevues.....	30
1.2.3 Ateliers.....	33
1.2.4 Recherche documentaire.....	34
1.3 Outils et méthodes d'analyse des données de la recherche.....	34
1.3.1 Outil d'analyse des données.....	35
1.3.2 Méthodes d'analyse des données	36
1.3.2.1 Encodage lexical	36
1.3.2.2 Encodage par questions d'entrevues.....	37
1.3.2.3 Encodage par catégories du cadre.....	37
1.3.2.4 Encodage des sentiments	37
1.4 Interconnexion entre les différentes méthodes d'analyse	38
CHAPITRE 2 TERMINOLOGIES, PROCESSUS ET CONCEPTS NUMÉRIQUES.....	43
2.1 Transformation numérique.....	43
2.2 Gestion des actifs d'infrastructures urbaines	45
2.2.1 Définitions de la gestion des actifs	45
2.2.2 Actif, infrastructure, actifs d'infrastructure, actifs d'infrastructures urbaines	47
2.2.3 Gestionnaire d'installation, gestionnaire d'actifs et gestionnaire des biens immobiliers (<i>Facility, Asset et Property manager</i>).....	48
2.3 Jumeau numérique (JN) / Digital Twin (DT)	50
2.4 Localisation des concepts numériques selon les activités de gestion des actifs	52
2.4.1 Aperçu de la littérature.....	53
2.4.2 Vision systémique sur les activités de gestion des actifs.....	55
2.5 Conclusion	56
CHAPITRE 3 TOWARDS THE CREATION OF A SEARCHABLE 3D SMART CITY MODEL	59
3.1 Abstract.....	59
3.2 Introduction.....	60
3.3 Key components of a 3D city model design	63

3.3.1	Data management.....	63
3.3.1.1	Data, information and knowledge.....	64
3.3.1.2	Managing data for information dissemination.....	65
3.3.2	Importance of owning data	68
3.3.3	Blockchain, IOTA project and smart contract	69
3.4	From data digitization to the smart city based on the digital city.....	71
3.4.1	Interconnecting the territory to infrastructures (two city systems).....	71
3.4.1.1	Building information modeling (BIM), Geographic Information System (GIS) and City Information Modeling (CIM).....	71
3.4.1.2	Building information modeling for infrastructures.....	72
3.4.1.3	Building information modeling and blockchain	74
3.4.1.4	Building information modeling adoption policy and competitiveness.....	74
3.4.2	Interconnecting government/municipal authorities with citizens (two city systems).....	75
3.4.2.1	Digital city	75
3.4.2.2	Smart city.....	76
3.4.2.3	Differences and similarities between the digital city and the smart city.....	77
3.5	Creation of a new 3D city model	78
3.5.1	Description of five 3D city models.....	79
3.5.1.1	3D model of the city of Hong Kong	79
3.5.1.2	3D model of 11 cities in France.....	79
3.5.1.3	3D model of Chennai in India.....	80
3.5.1.4	3D model of London in England	80
3.5.1.5	3D model of Abu Dhabi in UAE	81
3.5.2	Analyses, observations and proposals.....	81
3.5.3	Towards a 3D smart city model.....	83
3.5.3.1	Benefits and peculiarities of the proposed model.....	84
3.5.3.2	Attenuation factors of the model.....	84
3.6	Discussion and implications	86

CHAPITRE 4 DIGITAL TRANSFORMATION WITHIN MUNICIPALITIES FOR THE PLANNING, DELIVERY, USE AND MANAGEMENT OF URBAN INFRASTRUCTURE ASSETS – PART 1: DEVELOPMENT AND PRELIMINARY VALIDATION OF A THEORETICAL FRAMEWORK

4.1	Abstract.....	89
4.2	Introduction.....	90
4.3	Background and development of the theoretical framework.....	94
4.3.1	Research Methodology and Results.....	97
4.3.1.1	Identification and collection of articles.....	99
4.3.1.2	Screening, eligibility, and inclusion.....	101

4.3.1.3	Categorization of barriers and issues to DT found in the literature	101
4.4	Framework design.....	101
4.5	Framework validation.....	107
4.5.1	Methodology and profile of workshop respondents	107
4.5.2	Issues and Outcomes from the workshops.....	108
4.6	Discussion.....	110
4.7	Conclusion	111
4.8	Limitations and future work.....	112
CHAPITRE 5 DIGITAL TRANSFORMATION WITHIN MUNICIPALITIES FOR THE PLANNING, DELIVERY, USE AND MANAGEMENT OF URBAN INFRASTRUCTURE ASSETS – PART 2: OPERATIONALIZATION AND EXTENSION OF A THEORETICAL FRAMEWORK		
5.1	Abstract.....	115
5.2	Introduction.....	116
5.3	Methodology.....	118
5.3.1	Survey	121
5.3.2	Interviews.....	121
5.3.3	Analytical Methods and Tools	122
5.4	Results.....	123
5.4.1	Survey	123
5.4.1.1	Profile of Survey Respondents.....	123
5.4.1.2	Results of the analysis for all municipalities	123
5.4.1.3	Results of the analysis by municipality size	130
5.4.2	Interviews.....	132
5.4.2.1	Interview respondent profiles	132
5.4.2.2	Lexical coding results	132
5.4.2.3	Results of coding by interview questions	133
5.4.2.4	Coding results by Framework Category	139
5.4.2.5	Sentiment analysis	141
5.4.3	Responses to Survey and Interview Objectives.....	143
5.5	Discussion.....	144
5.6	Conclusion	152
5.7	Limits	153
CHAPITRE 6 TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DE LA GESTION DES ACTIFS DES INFRASTRUCTURES URBAINES : CADRE STRATÉGIQUE ET ORGANISATIONNEL APPLIQUÉ À LA VILLE DE BEACONSFIELD.....		
6.1	Introduction.....	155
6.2	Cadre préliminaire	156
6.3	Démarche de la recherche.....	157
6.4	Sondage.....	160

6.4.1	Méthodologie	160
6.4.2	Questions, résultats, constats et conclusions du sondage	161
	6.4.2.1 Profil des répondants au sondage.....	161
	6.4.2.2 Résultats de l'analyse.....	161
	6.4.2.3 Conclusion du sondage	173
6.5	Entrevues.....	174
6.5.1	Méthodologie : type, objectifs, préparation et déroulement	174
6.5.2	Méthodes d'analyse	175
6.5.3	Questions, résultats, constats et conclusions des entrevues.....	176
	6.5.3.1 Profils des répondants aux entrevues.....	176
	6.5.3.2 Encodage lexical	176
	6.5.3.3 Encodage par questions d'entrevues.....	177
	6.5.3.4 Encodage par catégories du cadre.....	182
	6.5.3.5 Encodage des sentiments	189
6.5.4	Conclusion des entrevues.....	192
6.6	Ateliers.....	194
6.6.1	Méthodologie et profil des répondants aux ateliers	194
6.6.2	Résultats, constats et conclusions de l'analyse des ateliers: Question 1	195
6.6.3	Résultats, constats et conclusions de l'analyse des ateliers : Question 2	199
6.6.4	Conclusion des ateliers	202
6.7	Analyse documentaire.....	203
6.7.1	Méthodologie de la recherche documentaire	203
6.7.2	Résultats, constats et conclusions de la recherche documentaire	206
6.7.3	Résultats, constats et conclusions de l'encodage documentaire	207
6.7.4	Conclusion de l'analyse documentaire	210
6.8	Discussion.....	211
6.9	Conclusion	213
6.10	Limites	219
	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	221
	LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	239
	BIBLIOGRAPHIE.....	273

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1 Cycles d'intervention et validations pour le développement d'artefacts et l'aide de l'organisation.....	26
Tableau 1.2 Méthodes d'analyse et leurs forces et faiblesses.....	40
Tableau 2.1 Définitions de la transformation numérique	44
Tableau 2.2 Définitions de la gestion des actifs	46
Tableau 2.3 Différence entre gestionnaire d'installation, gestionnaire d'actifs et gestionnaire des biens immobiliers	49
Tableau 2.4 Exemples de recherches reliant des activités de la gestion des actifs et concepts numériques repérés	54
Tableau 3.1 A few data collection tools.....	67
Tableau 3.2 Different approaches to designing 3D city models.....	82
Tableau 3.3 Analysis trends of the proposed model	85
Tableau 4.1 Different categorizations of digital transformation barriers found in the literature	95
Tableau 4.2 Some words, phrases, equations, and search operators used	100
Tableau 4.3 Proposed categorizations of digital transformation barriers from the literature	102
Tableau 4.4 Occurrence of hindrances found in the literature by setting	103
Tableau 4.5 Occurrence of workshops-identified barriers, interpreted via the framework	109
Tableau 5.1 Preliminary Framework developed in Manuscript Part1	119
Tableau 5.2 Profiles and number of survey respondents	123
Tableau 5.3 Results of the analysis of survey responses	124
Tableau 5.4 Results of the analysis of survey responses 10 and 22	128
Tableau 5.5 Results of the analysis of survey responses 14, 19 and 23	129
Tableau 5.6 Interview respondent profiles.....	132

Tableau 5.7 Occurrence of Barriers from Interviews by the theoretical framework	140
Tableau 5.8 Responses to Survey and Interview Objectives	143
Tableau 5.9 Validation and extension of the framework	144
Tableau 5.10 Digital Transformation Framework supporting the planning, delivery, use and management of Municipal Urban Infrastructure Assets	147
Tableau 6.1 Catégorisation des freins de la transformation numérique.....	157
Tableau 6.2 Résultats de l'analyse des réponses aux sondages	161
Tableau 6.3 Réponses aux objectifs du sondage.....	173
Tableau 6.4 Profils des répondants aux entrevues	176
Tableau 6.5 Occurrence des freins tirés des entrevues selon le cadre	183
Tableau 6.6 Réponses aux objectifs des entrevues	193
Tableau 6.7 Occurrence des freins tirés des ateliers selon le cadre	197
Tableau 6.8 Réponses aux objectifs des ateliers	202
Tableau 6.9 Résultats de l'analyse documentaire	209
Tableau 6.10 Réponses aux objectifs de l'analyse documentaire.....	211
Tableau 6.11 Apparition des freins dans les différentes méthodes d'analyse	212
Tableau 6.12 Feuille de route de transformation numérique de la ville de Beaconsfield.....	216

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1	Multitude de projets et d’infrastructures interdépendants à considérer lors de la prise de décision.....	1
Figure 2	Cadre d’analyse TOPiCS.....	7
Figure 3	Contenu et structure de la thèse.....	9
Figure 1.1	Modèle de processus <i>Design Science Research Methodology</i>	15
Figure 1.2	Modèle de l’Action Design Research superposé au Modèle Design Science Research.....	21
Figure 1.3	Itération du processus suivi par la recherche doctorale.....	27
Figure 1.4	Prétraitement des transcriptions des entrevues.....	36
Figure 2.1	Types d’actifs	47
Figure 2.2	Assignation des concepts numériques aux activités de gestion des actifs.....	57
Figure 3.1	Current systems management and proposal for interconnection.....	62
Figure 3.2	From data to knowledge (the DIKW linear chain).....	65
Figure 3.3	Representation of the blockchain principle	69
Figure 3.4	Illustration of the IOTA principle.....	70
Figure 4.1	Refinement steps and results and number of related articles	98
Figure 5.1	Analysis sequences from a pre-structured framework	120
Figure 5.2	Compilation of survey responses (all municipality sizes).....	127
Figure 5.3	Compilation of survey responses analyzed by municipality size.....	131
Figure 5.4	Result of the lexical analysis of the interview transcripts	133
Figure 6.1	Séquences d’analyse à partir d’un cadre préstructuré	159
Figure 6.2	Pourcentage des concepts de ville selon les réponses au sondage	153

Figure 6.3	Niveau d'adhésion aux projets de changement de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines	166
Figure 6.4	Niveau de support des élus à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines.....	167
Figure 6.5	Pourcentage des technologies les plus utilisées selon les réponses au sondage	168
Figure 6.6	Niveau de soutien du service Technologie de l'Information à la.....	170
Figure 6.7	Compilation des réponses au sondage.....	171
Figure 6.8	Résultat de l'analyse lexicale des transcriptions des entrevues.....	177
Figure 6.9	Portion et analyse des sentiments en fonction des questions des entrevues.....	189
Figure 6.10	Aperçu des réponses inscrites sur Miro lors des ateliers.....	196
Figure 6.11	Priorisation des actions par le groupe 1.....	199
Figure 6.12	Priorisation des actions par le groupe 2.....	200
Figure 6.13	Priorisation des actions par le groupe 3.....	200
Figure 6.14	Chronologie et documents analysés	205

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AEC	Architecture, Engineering & Construction
AIR	<i>Asset Information Requirements</i>
ADMQ	Association des directeurs des Municipalités du Québec
AIMQ	Association des Ingénieurs Municipaux du Québec
BIM	<i>Building Information Modeling / Building Information Management</i>
CDE	Environnement de Données Commun
CERIU	Centre d'Expertise et de Recherche en Infrastructures Urbaines
CIM	<i>City Information Modeling / Civil Information Modeling</i>
CMIS	<i>Capacity Management Information System</i>
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
DSR	<i>Design Science Research</i>
EIR	Exchange Information Requirements
FCM	Fédération Canadienne des Municipalités
FM	<i>Facility management</i>
GA / AM	Gestion des actifs / <i>Asset Management</i>
GC	Gouvernement du Canada
IAM	<i>Institute of Asset Management</i>
IA	Intelligence Artificielle
IoT	Internet des Objets / <i>Internet of Things</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
IU	Infrastructure urbaine
JN / DT	Jumeau Numérique / <i>Digital Twin</i>
OIR	<i>Organisational Information Requirements</i>

PI / IP	Intellectual Property / Propriété Intellectuelle
PCI	Processus de Conception Intégrée
PEB	Plans d'Exécution BIM
PIM	<i>Product Information Management</i>
RA /AR	Réalité Augmentée / <i>Augmented reality</i>
RM / MR	Réalité mixte / <i>mixed reality</i>
SIG /GIS	Système d'Information Géographique / <i>Geographic Information System</i>
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
TN / DT	Transformation numérique / Digital Transformation
VR / RV	Virtual reality / Réalité Virtuelle

INTRODUCTION

Contexte et motivation de la recherche

Les infrastructures sont la pierre angulaire de la santé publique et de la sécurité. De fait, elles font partie d'un grand portefeuille diversifié où les propriétaires et les gestionnaires d'actifs sont responsables, tout comme les ministères fédéraux, les forces armées, les municipalités. Toutefois, ces actifs sont complexes et interreliés, par exemple, les réseaux souterrains sont connectés aux bâtiments en passant par les réseaux routiers et les parcs. La Figure 1 illustre l'interdépendance entre les infrastructures, également la multitude d'actifs et de projets à prendre en considération lors de la prise de décision et de la planification du portefeuille des projets.

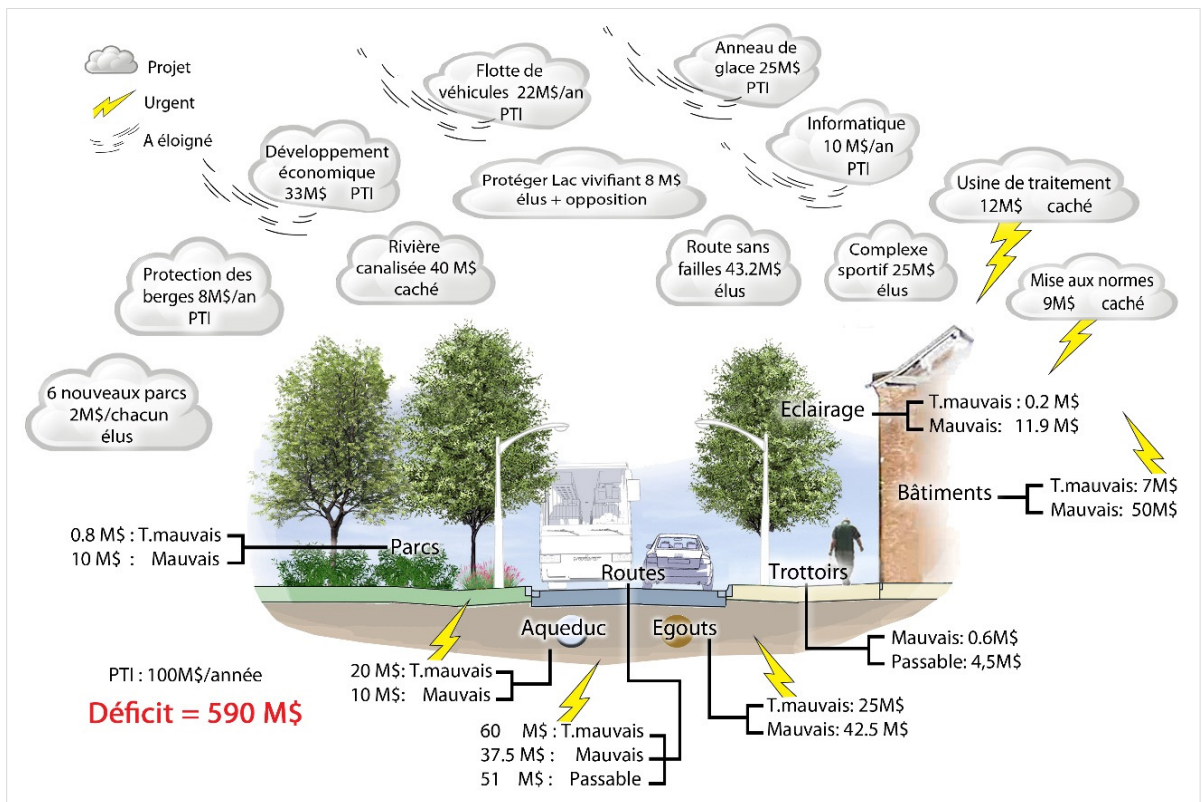


Figure 1 Multitude de projets et d'infrastructures interdépendants à considérer lors de la prise de décision

Cette interdépendance entre les infrastructures empêche l'entière protection contre la détérioration des uns et des autres que ce soit dû à l'utilisation, aux conditions géologiques, aux effets climatiques ou autres causes (Koks & al., 2019; Thacker & al., 2019). En outre, en raison du manque du processus de la gestion des actifs, d'un financement insuffisant ou de technologies de soutien inappropriées, certaines composantes de cette infrastructure ont été négligées et n'ont reçu que des traitements curatifs (Petchrompo & Parlikad, 2019; Gasparro & Monk, 2020; Kim & Ebdon, 2021; Streed, 2020). Dans plusieurs villes d'importance, les actifs étant vieillissants, un grand nombre d'entre eux ont presque atteint la fin de leur vie utile. Par exemple, à Montréal, Québec et Trois-Rivières, certains actifs ont plus de cent ans (Canadian Infrastructure Report Card, 2019). De plus, le taux de défaillance des actifs est élevé, notamment au Québec où il y a plus de 4,5 bris de réseau d'aqueduc et d'égout par jour (Info-Excavation, 2016).

Alors que les modèles de gestion de projet aident à bien exécuter les projets, de leur côté, ceux de la gestion des actifs visent à faire les bons projets. La gestion des actifs vise ainsi à prioriser les meilleurs projets qui apporteront des bénéfices à long terme au profit des utilisateurs présents et futurs (Vanier, 2001; Sweetman & Conboy, 2018; Cooper & al., 2001). Par conséquent, les résultats d'aujourd'hui ont une valeur secondaire comparée à la valeur future des bénéfices et conséquences d'une saine gestion des actifs. Par exemple, la valeur des actifs non financiers au Canada, aussi appelée « patrimoine national », était estimée à 14 575,0 milliards de dollars en 2021 (Statistique Canada, 2021). En outre, ce montant augmente à un rythme d'environ 100 milliards de dollars par année (Fixed capital flows and stocks, 1994; Capital 1996; Private and Public Investment in Canada, 1999; Vanier, 2000). Ces valeurs sont considérables et montrent l'importance et l'ampleur du défi de la gestion des actifs surtout en cette période de difficultés économiques mondiales. Les gestionnaires ont donc besoin de redéfinir l'environnement de leur gestion d'un point de vue systémique (Raisch & Krakowski, 2021; Campbell & al., 2018) regroupant, en même temps, les aspects organisationnels, technologiques et informationnels.

L'exploitation, l'entretien, le maintien et le renouvellement éventuels des actifs construits représentent donc un coût important et en croissance rapide pour le Canada et les États-Unis (Vanier, 2001, Folkman, 2018, D'Cruz, 2018). D'ailleurs, des défis similaires existent en Australie (Burns & al., 1999; Palepu & al., 2020) et dans d'autres pays développés. En outre, les dépenses d'entretien et de maintien ne sont pas suffisantes, à titre d'exemple : « Les municipalités canadiennes dépensent de 12 à 15 milliards de dollars chaque année dans le domaine des infrastructures, mais cela semble ne jamais suffire » (InfraGuide, 2006). Plusieurs municipalités au Québec se plaignent de leur incapacité à combler leur déficit d'entretien (CERIU, 2017) et plusieurs municipalités dans le monde sont incapables de combler le déficit d'investissement (Pourreaux & Galipeau, 2016). Elles doivent donc équilibrer leurs investissements en maintien d'actifs et répondre à la croissance de la population. Le déficit d'entretien ne cesse de s'accumuler en croissant, ce qui entraîne des défaillances prématurées et des renouvellements prématurés (Laitinen & al., 2020). Ceci entraîne des répercussions tant à l'échelle locale que nationale, ainsi que sur le développement économique et social. Entre autres raisons, l'augmentation des risques pour la santé et la sécurité, la réduction de la compétitivité économique, la réduction de la valeur des actifs du pays et de la nécessité d'augmenter le financement pour maintenir les services offerts aux citoyens (Vanier, 2001).

Parallèlement, et avec la nouvelle ère numérique, les pratiques de la gestion des actifs sont réorganisées avec la mise en œuvre d'une panoplie de technologies (Desdemoustier & al., 2019; Nagorny-Koring, 2019; Frennert, 2018) pour plusieurs raisons, par exemple, pour améliorer la communication, accroître l'efficacité, la précision et l'approbation commune des décisions au niveau municipal (Wojewnik-Filipkowska & Rymarzak, 2022). « Une gestion efficace des actifs d'infrastructure dépend en grande partie de la capacité à partager, échanger et gérer efficacement les informations sur le cycle de vie des actifs » (Mahmoud & al., 2007). C'est la clé d'une meilleure prise de décision pour l'infrastructure municipale (Razaghi & Finger, 2018; Balasubramani, 2020; Fan, 2021).

Les villes se retrouvent donc confrontées à un essor considérable des technologies et intègrent de plus en plus les outils numériques dans leur quotidien (Kaufmann, 2014; Mikalef & al., 2022) automatisant ainsi les processus manuels. Les villes mettent en œuvre des outils technologiques afin d'améliorer la compétitivité, la productivité et la sécurité des activités de gestion des actifs des infrastructures urbaines. De fait, de nombreuses municipalités utilisent des systèmes informatiques pour stocker et gérer l'information et pour appuyer les décisions tactiques et stratégiques concernant l'exploitation, l'entretien, le maintien et le remplacement de leurs infrastructures (Mahmoud & al., 2007). Ces outils permettent de collecter et d'organiser des données sur les différents actifs, et cela devient une véritable mine d'informations pour les villes qui, par la suite, sont confrontées à la gestion efficace de ces informations (Moritz, 2016). Ainsi, un meilleur partage des données peut entraîner une baisse de la consommation, réduire l'impact sur l'environnement naturel et aider à réaliser une gestion intelligente des actifs (NIC, 2017).

La réalité virtuelle (VR), la réalité augmentée (AR) et la réalité mixte (MR) offrent un moyen très efficace pour simuler les dimensions spatiotemporelles des villes dans la réalité numérique (Mohammadi & Taylor, 2017). Ainsi, les progrès du Building Informations Modeling (BIM) sont susceptibles de contribuer à la réduction du temps pris pour la mise à jour des bases de données dans les opérations et la maintenance (O&M) de l'ordre de 98% (Ding et al., 2009). L'apport des technologies de l'information (par ex. GIS) contribue à mettre au service des acteurs un volume important de données et d'informations. L'intégration et le traitement des données (Woodall, 2017), les technologies de l'information et de la communication (TIC) (Ahuja et al., 2009), et le BIM, entre autres, sont plus ou moins déjà disponibles. Souvent, la motivation sous-jacente des organisations qui investissent dans les technologies numériques est de fournir aux responsables des informations rapides et de haute qualité pour améliorer la prise de décision, mettre en évidence les tendances en matière de performances et réduire les coûts (Love & Matthews; 2019). La nécessité (le « pourquoi ») d'adopter les technologies numériques est généralement bien comprise et documentée dans la littérature (Love & Matthews, 2019; Araral, 2020; Mikalef & al., 2022; Brous & al., 2020).

Cependant, pour apprécier les avantages de ces technologies, les villes doivent se poser une série de questions avant d'adopter une solution technologique afin de s'assurer qu'elle ajoute de la valeur qui arrime sa transformation numérique avec son processus de gestion des actifs. Si un tel questionnement n'est pas entrepris, il est probable que les villes entament leur transformation numérique de façon aléatoire et fragmentée. L'étendue des changements qui seront nécessaires est alors amplifiée lorsque de nouvelles technologies et de nouveaux outils sont intégrés dans des projets où plusieurs parties dépendent des informations pour effectuer efficacement leur travail (Love & Matthews, 2019). Et ceci accentue le travail en vase clos (en silo) : « ...tout le monde fait de la gestion d'actifs ; mais de façon isolée (silos), peu ou pas coordonnée (non alignée) [alors] que la gestion d'actifs est un tout, elle est holistique. » (Planifika, 2017).

Par ailleurs, la consultation des outils technologiques permet rarement de développer une compréhension des composantes essentielles des phénomènes au niveau des villes et de leur dynamique, parce que chaque outil est conçu pour un angle spécifique d'un domaine précis. Par conséquent, il manque un chef d'orchestre qui non seulement pourrait orchestrer l'ensemble des joueurs (experts), mais les obligerait aussi à s'écouter les uns les autres et les aider à comprendre ce qui se passe dans l'ensemble de l'orchestre. « Il existe un large consensus dans l'industrie selon lequel l'adoption d'approches multidisciplinaires intégrées est une exigence clé pour mettre en œuvre des programmes de gestion des actifs efficaces, durables et proactifs » (Mahmoud & al., traduction libre, 2007). Il manque une vision globale et intersectorielle des phénomènes complexes (Goux-Baudiment, 2000) pour ainsi rendre les informations intelligibles, accessibles et pertinentes par rapport aux enjeux décisionnels (Desthieux, 2005). À cet effet, au Royaume-Uni, le centre Digital Built Britain a mis les bases pour un jumeau numérique national (Bolton & al., 2018) et la région de l'Île de France a déjà commencé à concevoir son jumeau numérique (Technos et innovations, 2019) qui pourra contribuer à la gestion des actifs des infrastructures urbaines.

Prémisses de travail

La présente recherche doctorale pose trois prémisses :

- 1) L'étude suppose que la mise en œuvre d'un processus de la gestion des actifs nécessite la création d'un environnement collaboratif. Étant donné l'ampleur du domaine et de la quantité d'informations à gérer, cet environnement ne peut pas se créer uniquement par le biais de la technologie.
- 2) L'étude suppose que la technologie existante présente beaucoup d'avantages au bénéfice du domaine pour lequel elle a été initialement créée et qu'une interconnexion entre les domaines avec les outils existants demeurera problématique malgré les efforts fournis par les chercheurs. La technologie existante a été conçue en fonction d'un objectif et pour un nombre de domaines bien précis dès l'origine de sa conception.
- 3) L'étude suppose qu'un jumeau numérique peut être le chef d'orchestre qu'il faut préconiser. En plus de favoriser la collaboration des ressources internes et externes, il permet d'accélérer l'analyse des données et l'extraction d'informations pertinentes aidant à une prise de décision avec une vision systémique. Le jumeau numérique joue un rôle important dans la cueillette d'informations en temps réel et surtout dans la production d'une intelligence décisionnelle.

La présente recherche examine comment les villes bénéficieront d'une transformation numérique menant à l'intégration des sources d'information et de la mise en œuvre des jumeaux numériques afin de mieux répondre aux besoins des citoyens et de maintenir un bon niveau de services sur le long terme.

Question de la recherche et objectifs

Les enjeux identifiés peuvent être classés en fonction de trois dimensions, soit le processus, les technologies et l'organisation selon un cadre d'analyse nommé TOPiCS (Figure 2), et ces dimensions existent dans le temps et dans l'espace : contexte et étapes (Poirier, 2012). Cette classification permet de structurer, de cadrer la recherche et de faire le lien entre la recherche scientifique théorique et son application pratique.

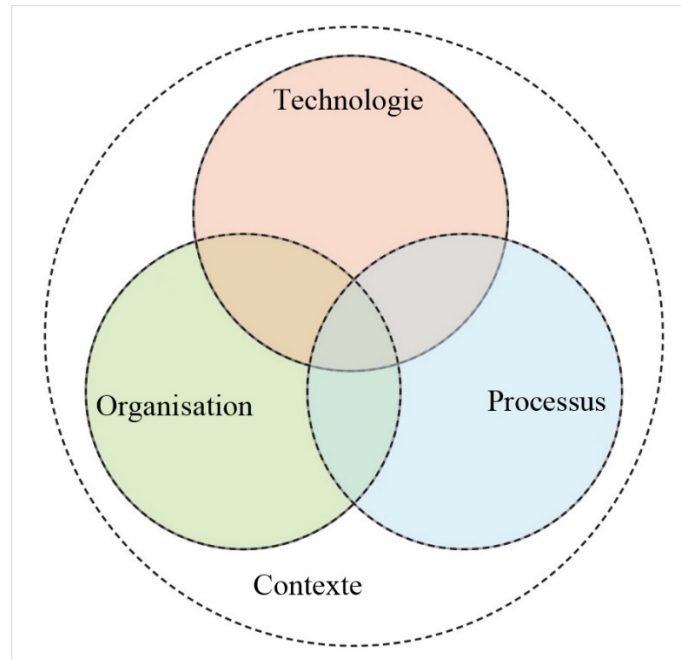


Figure 2 Cadre d'analyse TOPiCS
Adaptée avec autorisation de Poirier (2012)

L'étude vise à arrimer la transformation numérique et ses initiatives avec les activités de gestion des actifs pour une meilleure prise de décision. C'est ainsi que découle la question de cette recherche :

Comment structurer la transformation numérique au sein des municipalités pour assurer la saine gestion des infrastructures urbaines ?

En réponse au cadre théorique et aux prémisses présentées précédemment, les objectifs de cette recherche sont :

- 1) Identifier les outils, approches et processus qui permettent une meilleure prise de décision pour les villes.
- 2) Identifier les enjeux qui freinent la transformation numérique des activités de gestion des actifs des infrastructures urbaines.
- 3) Cadrer une transformation numérique réussie des activités de gestion des actifs d'infrastructures urbaines des villes.

Approche et méthodes de la recherche

La présente recherche s'inscrit dans le programme du Doctorat en génie qui a comme profil la recherche appliquée. « La recherche-action » est l'approche suivie dans cette étude. L'analyse documentaire, les sondages, les entrevues, les ateliers et l'investigation sur place sont les méthodes utilisées dans cette recherche doctorale. Ces méthodes sont expliquées en détail dans le Chapitre 1 et brièvement dans chacun des chapitres 3, 4, 5 et 6.

Démarche de travail, résumé du contenu et structure de la thèse

La thèse est présentée par articles intégrés dans des chapitres distincts. Chacun des trois articles ont été soumis aux fins de publication dans des revues scientifiques avec comité de lecture. La thèse se structure en six chapitres. Toutefois, la numérotation des chapitres ne reflète pas nécessairement le développement temporel réel du contenu. Cette numérotation est une structure logique pour faciliter la compréhension du lecteur. Pour mieux comprendre le développement temporel réel du contenu, la Figure 3 schématise la structure de la thèse et les liens entre les chapitres.

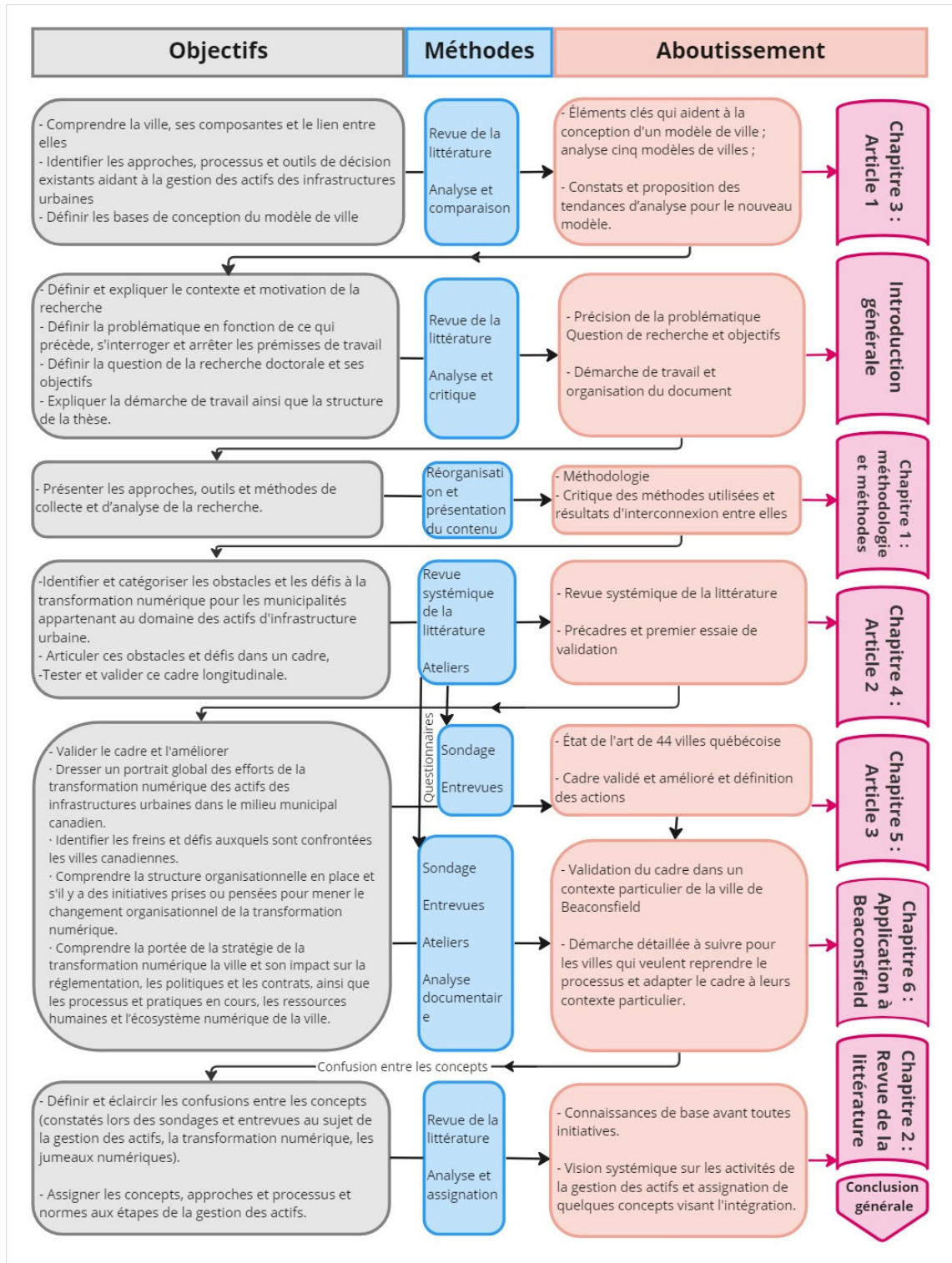


Figure 1 Contenu et structure de la thèse

L'article 1, présenté dans le Chapitre 3, a été écrit au début de ce projet doctoral. Les objectifs étaient de comprendre la ville, ses composantes et le lien entre elles, ainsi qu'à identifier les approches, processus et outils technologiques existants, aidant ainsi à la gestion des actifs des infrastructures urbaines. À travers une revue de la littérature et une analyse et comparaison, les bases de conception des modèles de villes ont été définies ainsi que quelques constats et propositions des tendances d'analyse pour le nouveau modèle.

Dans l'introduction générale et à partir des résultats du Chapitre 3 (article 1), la recherche s'est interrogée sur les enjeux de ces nouvelles approches, processus et outils de gestion. Ces interrogations ont aidé à affiner le plan de la recherche doctorale. L'introduction générale définit et explique le contexte et la motivation de la recherche ainsi que les prémisses. Elle définit également la problématique et présente la question de la recherche doctorale ainsi que ses objectifs.

Le Chapitre 1 (méthodologie et méthodes) vient expliquer la démarche de travail. Il présente les approches, outils et méthodes de collecte de données et d'analyse de la recherche.

Le Chapitre 4 (article 2) vient juste après, dans cette logique temporelle, présenter une revue systématique de la littérature. Cette revue est à la fois plus large et approfondie sur : les concepts de la transformation numérique et de son impact sur les villes, les freins et enjeux de la transformation numérique, les cadres de la transformation numérique existants. La revue de la littérature a ainsi permis la conception d'un cadre identifiant et catégorisant les obstacles et les défis de la transformation numérique pour les villes. Le cadre a aussi aidé à la conception des questionnaires pour la suite de la recherche.

Dans le même Chapitre 4, un essai de validation du cadre a été fait auprès de deux grandes villes canadiennes

Le Chapitre 5 (article 3) a validé et adapté le cadre au contexte québécois. Il s'agit d'une étude mixte : quantitative (sondage auprès de 44 villes) et qualitative (entrevues auprès de 13 villes de différentes tailles). L'article 3 a dressé un portrait global des efforts de la transformation numérique des actifs des infrastructures urbaines dans le milieu municipal

québécois. Il a également identifié les freins et enjeux de la transformation numérique auxquels sont confrontées ces villes. Dans ce chapitre 5, le cadre a ainsi été testé, validé et amélioré. Il a été poussé afin de présenter des actions concrètes.

Dans le Chapitre 6, une autre démarche de validation du cadre a été menée. Deux nouvelles contributions sont présentées, en comparaison à la précédente validation, soit : (1) Le contexte particulier, celui de la ville de Beaconsfield au Canada. (2) L'utilisation de toutes les méthodes précédentes regroupées (ateliers, sondages, entrevues) en plus de la recherche documentaire et l'investigation sur place.

La thèse fournit une revue de la littérature (Chapitre 2) sur : la gestion des actifs, les concepts numériques y compris celui du jumeau numérique, et la répartition des concepts numériques sur les activités de la gestion des actifs et la transformation numérique. La revue de la littérature permet la compréhension holistique des activités de la gestion des actifs et des concepts de la transformation numérique. Cette revue de la littérature est présentée au Chapitre 2 parce qu'il est important qu'elle soit lue au début de la thèse avant d'entamer la lecture des autres chapitres. Ceci permet de comprendre les termes, les concepts et les deux domaines (la gestion des actifs et la transformation numérique) afin de mieux assimiler le contenu des articles.

Enfin, une conclusion générale vient répondre à la question de la recherche en présentant le lien entre les résultats et la problématique énoncée.

CHAPITRE 1

MÉTHODOLOGIE ET MÉTHODES DE TRAVAIL

La principale différence entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée est que la première vise l'enrichissement des connaissances et le développement des théories, tandis que la seconde a pour objectif la génération des constatations afin de résoudre un problème (Coryn, à paraître en 2013, p. 9). La présente recherche s'inscrit dans le programme de Doctorat en génie qui a comme profil la recherche appliquée. La recherche universitaire dans des disciplines appliquées a la double mission de contribuer simultanément à la résolution de problèmes pratiques et de créer des connaissances théoriques et conceptuelles.

Pour répondre aux objectifs du programme et aux objectifs de cette recherche, la présente recherche doctorale s'est inspirée de la « Design Science Research » et de l'« Action Design Research » comme orientations qui mobilisent l'Action Research à ses étapes. Cette approche (flux de travail) vise une meilleure compréhension de la problématique dans le contexte complexe et multidimensionnel des villes. En outre, elle aide simultanément à résoudre les problèmes pratiques et élargit les connaissances scientifiques, enfin, elle relie la théorie et la pratique pour générer une solution.

Les ateliers, le sondage, les entrevues, l'analyse documentaire et l'investigation sur place (dans une ville) sont les méthodes utilisées dans cette recherche doctorale.

La thèse est présentée par articles intégrés dans des chapitres distincts. Chacun des trois articles est soumis pour fins de publication dans des revues scientifiques avec comité de lecture. Le Chapitre 1 présente l'approche de la recherche, résume la méthodologie de travail et explique les méthodes de collecte et d'analyse de la recherche.

1.1 Approche de la recherche

1.1.1 Design Science Research

La présente recherche doctorale s'est inspirée du Design Science Research comme orientation qui mobilise de multiples méthodes (dont la recherche-action) à chacune de ses étapes. L'application du Design Science Research est généralement choisie par les disciplines de l'ingénierie et de l'informatique, bien qu'elle ne soit pas limitée à celles-ci et puisse être utilisée par d'autres disciplines et domaines (Hevner & Chatterjee, 2010; Kuechler & Vaishnavi, 2008). Le but principal du Design Science Research est de parvenir à la connaissance et à la compréhension d'un domaine problématique en construisant et en appliquant un artefact conçu (Hevner & al., 2008). Pour la présente recherche, le cadre de transformation numérique développé est l'artefact conçu.

Design Science Research cherche à développer de nouvelles connaissances généralisables sur les processus de conception, les produits de conception et les artefacts conçus, tout en résolvant les problèmes organisationnels avec de nouvelles pratiques de travail basées sur les technologies (Pirainen & Briggs, 2011). Le fait de codifier certains aspects des nouvelles connaissances du Design Science Research aide à généraliser les résultats (Gregor, Jones, 2007). Le but est donc d'expliquer les variations observées des phénomènes permettant de prédire ce qui se passe (Pirainen & Briggs, 2011). Ces variations permettent à l'artefact d'avoir un impact positif sur le contexte dans lequel il a été conçu et appliqué. L'utilisation de l'artefact donne souvent le même résultat.

- **Modèle de Design Science Research Methodology**

Le processus de la présente recherche doctorale suit un modèle de Design science composé de six activités représentées dans la Figure 1.1.

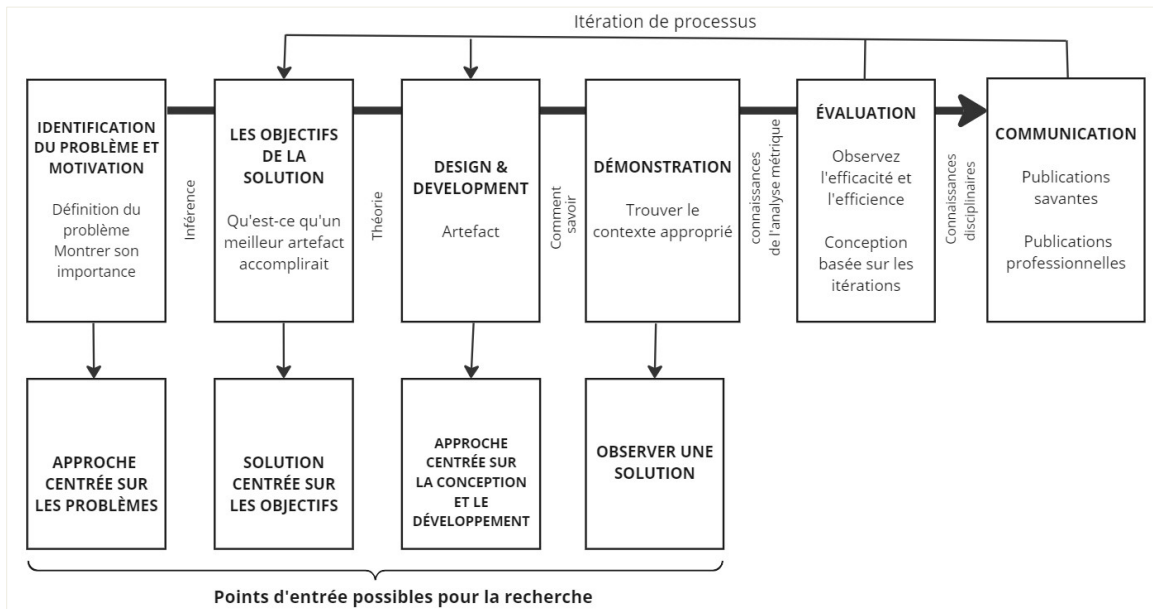


Figure 1.1 Modèle de processus Design Science Research Methodology

Adapté et traduit de Peffers & al. (2007)

Ce modèle est un processus de nature itératif (Peffers & al., 2007) qui explique ses activités comme suit :

Activité 1 : Identification du problème et motivation

La définition du problème servira à développer des artefacts pouvant apporter efficacement des solutions et pour démontrer la valeur de ces dernières. Elle atomise conceptuellement les problèmes pour que les solutions puissent maîtriser leur complexité. Cela aide à comprendre le raisonnement associé à la compréhension du problème par le chercheur.

Activité 2 : Définition des objectifs d'une solution

À partir de la définition du problème, les objectifs de la solution sont déduits. Les ressources nécessaires à cette fin comprennent la connaissance de l'état des problèmes et des solutions actuelles, ainsi que de leurs efficacités.

Activité 3 : Conception et développement

La conception et le développement est au cœur des recherches du Design Science (Peppers & al., 2007). Cette activité comprend la détermination des composantes souhaitées de l'artefact, puis la création de l'artefact réel. Conceptuellement, un artefact de recherche en conception peut être n'importe quel objet conçu dans lequel une contribution à la recherche est intégrée dans la conception.

Activité 4 : Démonstration

Dans cette activité, il faut démontrer la capacité de l'artefact à résoudre un ou plusieurs points du problème. Cela implique son utilisation dans l'expérimentation, la simulation, l'étude de cas, la preuve, ou toute autre activité appropriée (Peppers & al., 2007). Les ressources requises pour la démonstration comprennent une connaissance efficace de la façon d'utiliser l'artefact pour résoudre le problème. Les solutions varient d'un seul acte de démonstration (Walls & al., 1992) afin de prouver que l'idée fonctionne, à une évaluation plus formelle de l'artefact développé (Hevner & al., 2004; Vaishnavi & Kuechler, 2005).

Activité 5 : Évaluation

Dans cette activité, il faut observer et mesurer à quel point l'artefact soutient une solution au problème. Cette activité consiste à comparer les objectifs d'une solution aux résultats réels observés de l'utilisation de l'artefact dans la démonstration. Cela nécessite une connaissance des mesures et des techniques d'analyse pertinentes. Ainsi, selon la nature du lieu du problème et de l'artefact, l'évaluation peut prendre de nombreuses formes. Sur le plan conceptuel, une telle évaluation pourrait inclure toute preuve empirique ou logique appropriée. À la fin de cette activité, les chercheurs peuvent décider s'ils doivent revenir à l'activité 3 pour essayer d'améliorer l'efficacité de l'artefact ou s'ils doivent continuer à communiquer et laisser d'autres améliorations à d'autres projets ultérieurs.

Activité 6 : Communication

Cette activité consiste en la communication du problème et de son importance, de l'artefact, de son utilité et de sa nouveauté, de la rigueur de sa conception et de son efficacité pour les chercheurs et les publics pertinents (p. ex. les professionnels en exercice).

Les points d'entrée

Le processus présenté dans la Figure 1.1 ne suggère pas que le chercheur procède forcément dans l'ordre séquentiel à partir de la première activité à la dernière. Le chercheur peut commencer à n'importe quel point d'entrée et se déplacer vers l'extérieur.

Le chercheur peut procéder par une approche centrée sur les problèmes, en commençant par l'activité 1, si l'idée de la recherche résultait de l'observation du problème ou de recherches futures suggérées dans un article ou un projet antérieur. Une solution axée sur les objectifs, à partir de l'activité 2, pourrait être déclenchée par un besoin de l'industrie ou de la recherche qui peut être répondu par le développement d'un artefact. Une approche axée sur la conception et le développement commencerait par l'activité 3. Il résulterait de l'existence d'un artefact qui n'a pas encore été formellement pensé comme solution pour le domaine de problème explicite dans lequel il sera utilisé. Un tel artefact pourrait provenir d'un autre domaine de recherche, il pourrait avoir déjà été utilisé pour résoudre un problème différent, ou il aurait pu apparaître comme une idée analogique. Enfin, une solution initiée par le client, où le contexte peut être fondé sur l'observation d'une solution pratique qui a fonctionné, il commencerait alors par l'activité 4, aboutissant à une solution design-science si les chercheurs travaillent à rebours pour appliquer rétroactivement la rigueur au processus. Plusieurs chercheurs se concentrent sur la nature itérative du processus de recherche (Hevner& al., 2004), c'est le cas de la présente recherche doctorale.

1.1.2 Action Research et Action Design Research

- **Action Research**

La recherche-action vise « à construire et/ou tester la théorie dans le contexte de la résolution d'un problème pratique immédiat dans un contexte réel » (Azhar et coll., 2010). C'est ainsi « une façon de générer des connaissances sur un système social tout en essayant de le changer » (Lewin, 1946 dans Azhar et al., 2010). La recherche-action est unique dans la façon dont elle associe la recherche et la pratique par le changement et la réflexion (Rezgui, 2007). En outre, la recherche-action se distingue des autres approches par quelques

caractéristiques assignées par les chercheurs Hult et Lennung (1980) qui énumèrent les trois caractéristiques suivantes :

- La recherche-action vise à une meilleure compréhension d'une situation problématique immédiate, en mettant l'accent sur la nature complexe et multidimensionnelle des organisations.
- La recherche-action aide simultanément à résoudre des problèmes pratiques et élargit les connaissances scientifiques. Cet objectif s'étend à deux caractéristiques de processus importantes : premièrement, des hypothèses hautement interprétatives sont faites au sujet des observations ; deuxièmement, le chercheur intervient dans le réglage du problème.
- La recherche-action est réalisée en collaboration et améliore les compétences des chercheurs et des praticiens. Elle relie la théorie et la pratique pour générer une solution.

De leur côté, Zuber-Skerritt (1996) définissent trois caractéristiques de la recherche-action, à savoir :

- *Pratique* qui vise à améliorer ou à transformer la compréhension des praticiens grâce à une participation active et à une coopération avec le chercheur;
- *Efficacité* de la pratique assurant le perfectionnement professionnel du chercheur en tant qu' « expert externe »;
- Et *émancipatrice* qui vise à transformer les systèmes organisationnels grâce à la collaboration avec le chercheur agissant en tant que « modérateur de processus ».

Lewin (1946) dans Azhar et al. (2010) considère que la recherche-action est un processus cyclique qui passe par cinq phases : un diagnostic, une planification de l'action, une intervention, une observation et une formalisation de l'apprentissage (de façon itérative).

Les deux concepts au cœur de l'*Action Research* sont la cocréation du chercheur avec le praticien et les cycles d'intervention itératifs (Baskerville, 1999).

- ***Action Design Research***

L'Action Design Research consiste à analyser l'utilisation et la performance d'artefacts visant à comprendre, expliquer et souvent améliorer le comportement des systèmes d'information (Iivari & Venable, 2009). Elle tente ainsi de repousser les limites des capacités humaines et organisationnelles en créant de nouveaux artefacts innovants, notamment des structures, des modèles (March et Smith, 1995; Hevner et al., 2004). Pour leur part, Iivari & Venable (2009) définissent l'Action Design Research comme une activité de recherche qui invente ou construit de nouveaux artefacts innovants pour résoudre des problèmes ou apporter des améliorations. Leurs principales contributions à la recherche sont les nouveaux moyens d'atteindre un objectif général, plutôt que d'expliquer la réalité existante.

- **Similitudes et différences**

Järvinen plaide en particulier pour que l'*Action Design Research* soit similaire à l'*Action Research*. Il pense que l'*Action Research* ne doit pas être considérée comme méthode de recherche qualitative et devrait être plus étroitement associée à l'*Action Design Research*. De leur côté, Iivari & Venable (2009) considèrent les conclusions de Järvinen comme trop hâtives, bien qu'ils conviennent que l'*Action Research* et l'*Action Design Research* partagent de nombreuses caractéristiques. Iivari & Venable (2009) y voient un problème de classification : l'*Action Research* est une méthode de recherche tandis que l'*Action Design Research* est une orientation de recherche où différentes méthodes de recherche peuvent être utilisées (y compris l'*Action Research*). C'est ce que soutient également Hevner et al. (2004). Par ailleurs, Walls et al. (1992) soulignent que l'artefact développé est généralement conçu pour résoudre une classe de problèmes. Selon eux, la principale différence entre l'*Action Research* et l'*Action Design Research* est que cette dernière ne requiert pas un client spécifique ni de collaboration mutuelle entre chercheurs et clients.

1.1.3 Modèle d'approches intégrées suivi par la recherche doctorale

En tant que discipline appliquée et selon l'environnement problématique, le cycle itératif et émergent d'intervention de l'*Action Research* et de l'*Action Design Research* pourrait être mieux visualisé comme une séquence de cycles itératifs de quatre types différents : diagnostic, conception, mise en œuvre et évolution. Les diverses contributions aux connaissances tout au long de ce cycle diffèrent au fur et à mesure que la création d'artefacts d'ensemble émergeait progressivement à travers les étapes du diagnostic, de la conception à la mise en œuvre et finalement à l'évolution dans le temps (Mullarkey & Hevner, 2019). L'*Action Research* implique des actions suivant des activités cycliques nécessitant différents points d'entrée et pouvant produire des contributions à communiquer pour ensuite revenir dans le processus afin d'avancer l'artefact conçu. À cet effet, Mullarkey & Hevner (2019) préconisent de suivre un processus cyclique d'abstraction, d'évaluation, d'itération et de modification des théories, des constructions, des artefacts et des impacts. Ces deux chercheurs montrent que : (1) l'intervention est un concept central dans le processus de l'*Action Design Research* et devrait se produire à chacun de ces cycles, et (2) les activités d'évaluation (É), de réflexion (R) et d'apprentissage (A) se produisent dans chaque cycle d'intervention de l'*Action Design Research*. La Figure 1.2 détaille les activités et les principes proposés par Mullarkey & Hevner (2019) tout en les superposant au modèle *Design Science Research* de Peffers & al. (2007) (de la Figure 1.1).

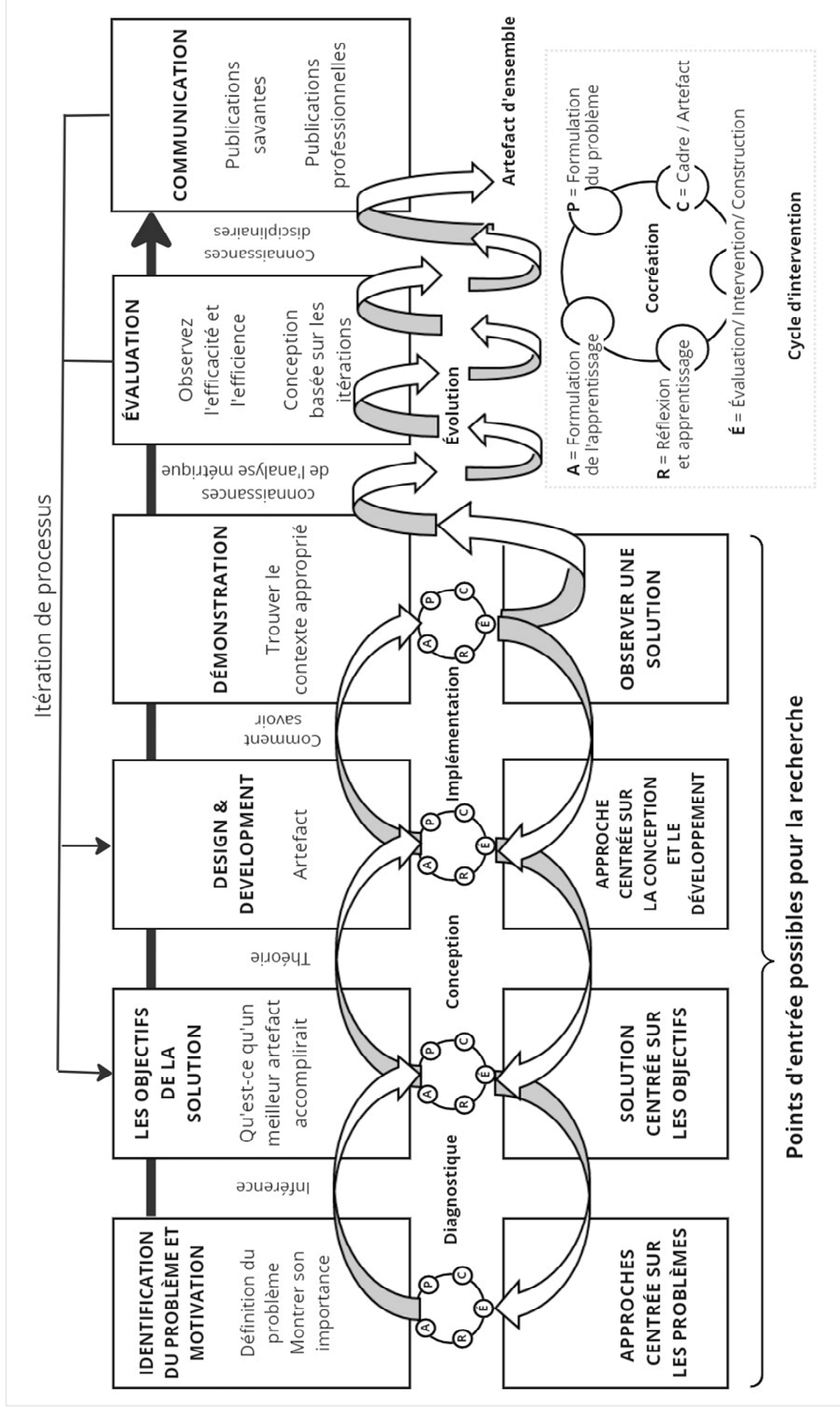


Figure 1.2 Modèle de l' Action Design Research superposé au Modèle de Design Science Research Adaptée et modifié de Mullarkey & Hevner (2019)

Les trois premières étapes : (1) Formulation du problème, (2) Construction, Intervention et Évaluation et (3) Réflexion et apprentissage, forment un cycle itératif avec l'apprentissage (l'apprentissage veut dire les résultats de la recherche) capturés et formalisés à l'étape finale. Sur la base des résultats de l'étape de formulation du problème, la recherche parcourt la conception puis la mise en œuvre d'un nouvel artefact. Elle étudie les problèmes avec l'artefact et recherche diverses options pour modifier l'artefact en plusieurs cycles itératifs avec les praticiens jusqu'à ce qu'il soit clair que l'environnement nécessite un artefact modifié. Chaque intervention auprès des praticiens est décrite.

Avec le modèle présenté à la Figure 1.2, les artefacts peuvent être construits puis évalués dans chaque cycle d'une étape de l'*Action Design Research* donnée afin de résoudre le problème formulé dans ce cycle précis. Chaque itération apprend d'un ou de plusieurs cycles précédents et modifie la formulation du problème pour le cycle suivant du projet de recherche. Par ailleurs, le modèle élaboré à la Figure 1.2 fournit une vue plus détaillée, ouverte et transparente des activités d'un projet de l'*Action Design Research*. Une telle transparence offre aux équipes de chercheurs-praticiens de plus grandes possibilités d'évaluer et d'analyser les artefacts produits, et les changements qui en résultent, apportés au contexte d'application dans des cycles itératifs (Agerfalk & Wiberg, 2018). Ainsi, les équipes de recherche présentes et futures, peuvent utiliser le modèle élaboré pour développer des conceptions de recherche qui reflètent mieux leurs objectifs de projet et soutiennent une gestion de projet et des conceptions de recherche plus claires.

1.1.4 Validation de la recherche doctorale

La validité de la recherche doctorale est assurée par le type de la recherche (participatif), la disposition d'un large éventail de procédures de validation et le suivi de l'approche méthodologique.

- **L'approche participative**

La recherche-action se caractérise par un processus de production des connaissances effectué de concert avec les acteurs de terrain. Elle a pour corollaire la mise en évidence des potentialités des participants et le renforcement, chez les personnes engagées, d'une prise de conscience de leurs propres capacités à déclencher et à contrôler l'action. Le fait que la recherche est répliquée sur plusieurs sites (Villes A et B, 44 villes québécoises et la ville de Beaconsfield) augmente la validité externe de la recherche.

La validité interne est assurée par la collaboration des chercheurs. Les données recueillies sont compilées puis analysées par deux chercheurs, chacun de son côté. Les résultats sont ensuite comparés, discutés et entendus dans un seul résultat final, qui a été exposé au troisième chercheur, et validé ensemble.

- **Soutien de la validité de l'analyse**

La recherche qualitative a longtemps été critiquée surtout pour sa validité et les explications élaborées par les analystes, c'est-à-dire leur crédibilité, leur stabilité et leur fiabilité (Mukamurera & al., 2022). La présente recherche s'est appuyée sur un ensemble de stratégies et techniques que proposent différents auteurs, principalement Huberman et Miles (1991 et 2003) et Van der Maren (1995). Voici quelques exemples qui ont été fort utiles pour la présente recherche :

- Définitions opérationnelles de codes ou de catégories (Huberman & Miles, 1991).
- Contrôle de fiabilité dans le codeur (Huberman & Miles, 1991).
- Évaluation des interférences : effets de biais (Huberman & Miles, 1991; Van der Maren, 1995).

- Interconnexion entre une méthode d'analyse que les chercheurs appellent la triangulation (Huberman & Miles, 1991; Van der Maren, 1995).
- Contrôle des participants, également connu sous le nom d'efficacité écologique (Huberman & Miles, 1991, p. 442).
- Contrôle des interprétations formulées (Van der Maren, 1995, p. 478).
- Maîtrise de la saturation des données (Savoie-Zajc, 2000, 2004).
- Les innovations technologiques et leurs contributions aux processus qui facilitent ou gèrent l'analyse et la signification des données validées.
- Recherche des preuves du contraire (Huberman & Miles, 1991, pp. 441-442).

- **Validation de l'artefact par l'*Action Design Research***

Pour cette recherche doctorale, le contexte problématique est l'organisation municipale ainsi que le problème à résoudre en insérant un artefact (cadre) dans ce contexte, qui est l'atteinte des objectifs. Les intervenants sont les employés de l'organisation municipale qui sont touchés par l'artefact et qui font partie du contexte problématique. Les chercheurs conçoivent les traitements pour des problèmes particuliers rencontrés tout au long de la recherche. L'interaction avec l'artefact consiste à le concevoir et à le mettre en œuvre dans cette situation particulière. Il est donc important de distinguer les problèmes particuliers qui existent à un endroit donné et à un moment particulier avec le problème général.

Au début de la recherche, la nécessité d'un nouvel artefact (cadre de transformation numérique) n'était pas certaine pour le domaine et le contexte de l'étude. Ainsi, avant de pouvoir utiliser les étapes de l'action-recherche, il fallait étudier les aspects du problème à un point d'entrée beaucoup plus précoce. Il fallait déterminer les enjeux et freins de la transformation numérique, examiner et évaluer les cadres existants. Il résulterait de l'existence d'un artefact, qui n'avait pas encore été formellement pensé comme solution pour le domaine de problème explicite dans lequel il serait utilisé (le domaine de la gestion des actifs pour la présente recherche). Des artefacts, provenant de d'autres domaines de recherche (e-gouvernement et administration publique), ont déjà été utilisés pour résoudre un problème en lien avec la transformation numérique.

Au niveau de chacune des activités, le chercheur valide l'artefact (le cadre) avant de passer à l'étape suivante et lorsqu'un traitement est conçu, il est aussi validé avant sa mise en œuvre. Une fois l'artefact initial conçu, le chercheur conçoit un ou plusieurs traitements interagissant avec un contexte problématique, qui devra améliorer l'artefact initial. Ainsi, l'interaction entre un artefact et le contexte problématique est le traitement qui devrait améliorer le contexte. Selon Wieringa & Morali (2012), le traitement est comme un médicament (artefact) inséré dans un contexte (corps humain) qui entame un traitement pour améliorer le contexte. Lorsqu'un traitement est réellement utilisé dans le monde réel, il peut être évalué en posant les mêmes questions qu'auparavant. Le Tableau 1.1 est une adaptation des suggestions de traitements de Wieringa & Morali (2012) au contexte de la présente recherche doctorale.

Lors de la présente recherche doctorale : deux ateliers ont été menés auprès de deux villes A et B (Chapitre 4), ainsi qu'une enquête auprès de 44 villes, et 23 entrevues auprès de 13 villes (Chapitre 5). Tandis qu'une autre investigation a été menée en étroite collaboration avec les employés de la ville de Beaconsfield (Chapitre 6). Dans les trois cas, il y a eu une certaine rétroaction qui a influencé le contexte de recherche, ainsi le chercheur est devenu plus qu'un observateur externe. Bien que les premières étapes de l'*Action Research* sont présents dans les deux premiers cas (Diagnostic : le sondage, les ateliers et les entrevues), l'*Action Design Research* se situe principalement dans le cadre de Beaconsfield qui s'étale sur une plus longue période.

Sur la base de tout ce qui a été détaillé précédemment, la Figure 1.3 conclut cette section et résume le processus suivi pendant la recherche doctorale selon le modèle adapté (Figure 1.2). Il est clair que les concepts clés de l'*Action Design Research* : l'intervention, l'émergence guidée, et la cocréation (Mullarkey & Hevner, 2019) sont au centre du cycle et conduisent chaque activité sur le cycle de la recherche doctorale. Chacun des chapitres 3, 4, 5 et 6 présente les détails du processus.

Tableau 1.1 Cycles d'intervention et validations pour le développement d'artefacts et l'aide de l'organisation

Contexte	Revue de la littérature Villes A et B (Chapitre 4 / Article 2)	Villes québécoises (Chapitre 5 / Article 3)	Ville de Beaconsfield (Chapitre 6)
Problème d'amélioration	Développer l'artefact	Développer l'artefact	Aider la ville
Enquête sur les problèmes 1) Les parties prenantes et leurs objectifs sont identifiés, et ceux-ci sont opérationnalisés en critères. 2) Les phénomènes pertinents pour le problème d'amélioration doivent être étudiés, et 3) Il faut évaluer dans quelle mesure ces phénomènes concordent avec les objectifs des parties prenantes.	Sections : 4.3 et 4.4	Sections : 5.3 et 5.4	Sections : 6.4, 6.5, 6.6 et 6.7
Conception	Conception d'artefacts Valider le cadre créé avec la littérature Section 4.5	Conception du traitement 1 Spécifier le traitement à l'aide d'artefact Section 5.4	Conception du traitement 2 1) Spécifier le traitement à l'aide d'artefact, 2) Convenir d'un plan de mise en œuvre. Sections 6.4, 6.5, 6.6 et 6.7
Validation de la conception 1) Effets attendus : Quels seront les effets de l'artefact dans un contexte problématique? 2) Valeur attendue : Dans quelle mesure ces effets répondront ils aux critères ? 3) Compromis: Comment ce traitement fonctionne-t-il par rapport à d'autres traitements possibles ? 4) Sensibilité: Le traitement sera-t-il toujours efficace et utile si le problème change ?	Sections : 4.5 et 4.6	Section : 5.5	Section : 6.8
Implémentation	-	-	À partir de 2023
Évaluation de la mise en œuvre - Parties prenantes, objectifs, critères ? - Effets obtenus dans leur contexte ? - Évaluation réalisée ?	-	-	-

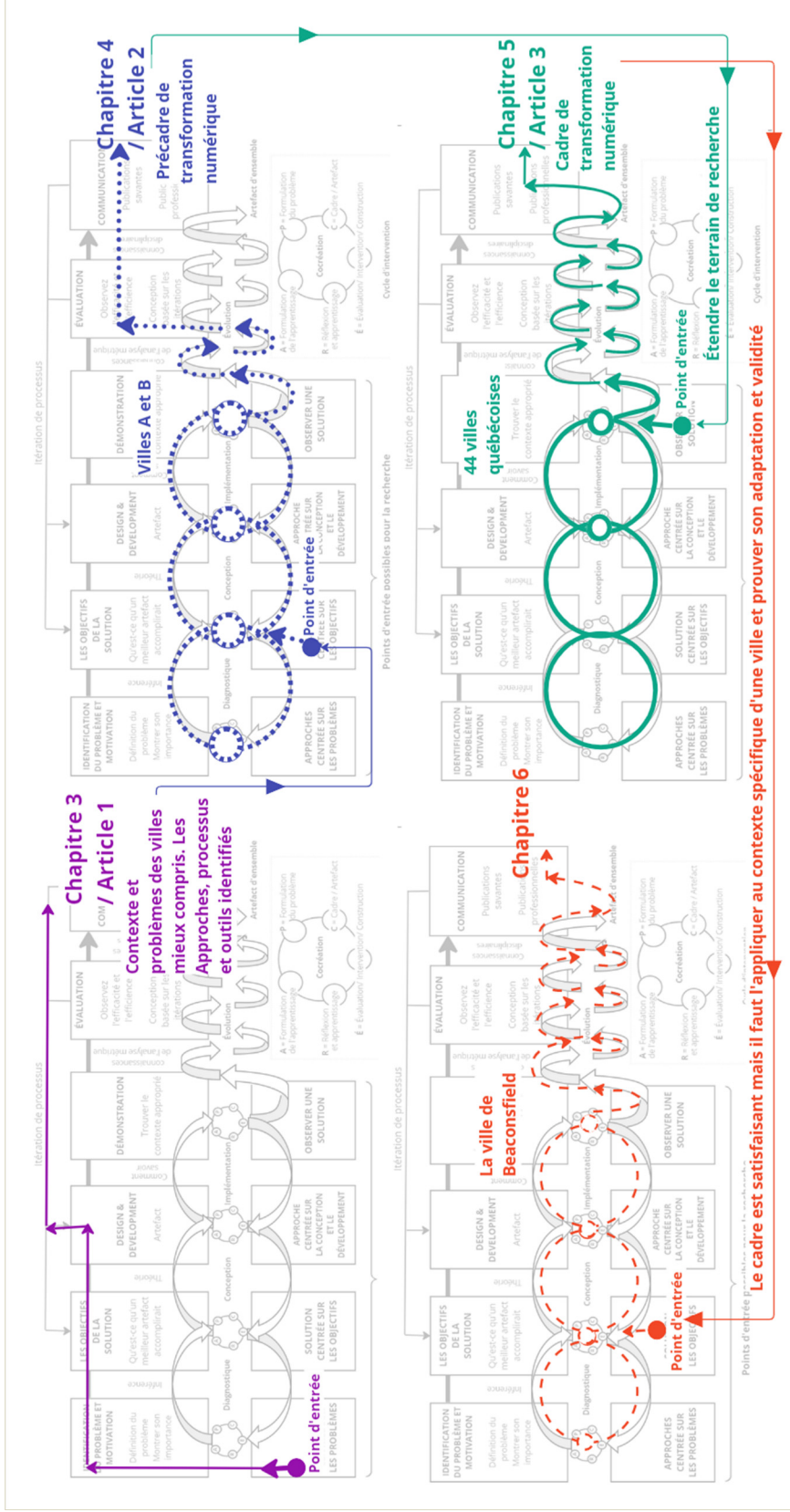


Figure 1.3 Itération du processus suivi par la recherche doctorale

1.2 Méthodes de collecte des données de la recherche

Les ateliers, le sondage, les entrevues, l'analyse documentaire, et l'investigation sur place (en ville) sont les méthodes utilisées dans cette recherche doctorale. Ces méthodes sont expliquées brièvement dans chacun des Chapitres 3, 4, 5 et 6. Dans cette section, ces méthodes sont expliquées avec plus de détails.

1.2.1 Sondage

Un sondage est conçu afin d'identifier les freins et enjeux de la transformation numérique (TN) des activités de gestion des actifs auxquels sont confrontées les villes québécoises au Canada. Selon Fortin et Gagnon (2016) : « La constance d'un questionnaire assure la fidélité de l'instrument, ce qui rend possible les comparaisons entre les répondants. »

Il est primordial de bien définir et viser l'échantillonnage pour que le sondage soit représentatif et que les résultats puissent être généralisés. La généralisation des résultats est un acte de raisonnement qui consiste à tirer des conclusions générales à partir d'instances particulières, c'est-à-dire tirer une conclusion sur ce qui n'est pas observé sur la base de ce qui est observé (Polit & Beck, 2010). D'ailleurs, la question de l'applicabilité des résultats de la recherche, au-delà de la population particulière qui a participé à l'étude, a gagné en importance pour les chercheurs qualitatifs (Groleau et al., 2009).

En premier lieu, une recherche a été effectuée afin d'obtenir la liste de l'ensemble de la population, soit les villes québécoises dans l'article 3 (Chapitre 5) et la liste des employés de la ville de Beaconsfield (Chapitre 6). Le sondage a réussi à couvrir 44 villes québécoises de toutes tailles dans l'article 3. L'accès à ce grand nombre de villes a été facilité grâce au grand réseau de l'un des chercheurs. Il a aussi été facilité, car ce sondage a été conçu uniquement à des fins d'études universitaires, et ne requiert aucun engagement supplémentaire de la part de la ville par la suite. De plus, les noms des répondants et des villes restent anonymes.

Ce sondage a été fait par échantillonnage stratifié systémique et les données recueillies sont à caractère qualitatif. Selon Gravel et Baudin (1994) : « L'échantillonnage stratifié permet d'obtenir une population représentative du groupe duquel elle est issue ». L'échantillon se compose donc de personnes qui répondent aux critères suivants :

- 1) Employés de villes de toutes tailles (grandes, moyennes, petites et très petites).
- 2) Employés travaillant dans différents services et départements.
- 3) Employés occupant une fonction incluant au moins une activité de la gestion des actifs. La répartition des fonctions des répondants doit couvrir une portion identique, idéalement, dans les trois niveaux de la gestion des actifs, soit stratégique, tactique et opérationnel.
- 4) L'exigence en nombre de répondants est indiquée dans chacune des études, au Chapitre 5 : 44 villes québécoises, et au Chapitre 6 : la ville de Beaconsfield.

Le sondage est composé de 25 questions à choix multiples conçues à partir des sous-catégories du précadre. Le Chapitre 4 présente le développement du précadre ayant chacun un objectif particulier. En outre, plusieurs prétests du questionnaire ont été effectués afin de déceler les lacunes qui pourraient s'y retrouver. Conséquemment, le questionnaire a été vérifié, amélioré et validé à la suite des commentaires recueillis. Par exemple, certaines questions ont été reformulées avec une terminologie propre aux villes québécoises.

Le questionnaire a ensuite été mis en forme selon une plateforme en ligne « Jotform » afin de faciliter le choix des réponses en un clic, ce qui prend un maximum de 10 minutes.

Dans l'étude des villes québécoises (Chapitre 5), un grand effort a été fourni pour trouver, sélectionner et entrer en contact avec les répondants ciblés. À cet effet, plusieurs stratégies ont été mises en place : fouiller et solliciter le réseau des chercheurs; chercher d'autres profils sur le réseau professionnel LinkedIn des villes québécoises ; solliciter quelques organismes ayant fait la promotion du sondage tels que le Centre d'Expertise et de Recherche en Infrastructures Urbaines (CERIU), l'Association des directeurs des Municipalités du Québec (ADMQ), l'Association des Ingénieurs Municipaux du Québec (AIMQ), enfin le service Info

et communication de quelques villes. Ce processus a duré quatre mois, soit de mars à juin 2022.

Une fois que le répondant ciblé accepte de répondre, le lien vers le sondage en ligne est envoyé par courriel. La récupération des formulaires de chaque réponse, en formats PDF et Excel, s'est faite de façon continue. Même si la cueillette des réponses se fait sur Jotform, ce dernier les envoie automatiquement au courriel du chercheur. Cette récupération offre une garantie de plus, minimisant ainsi le risque de perte des données.

Les données recueillies sont classées dans des dossiers par ville, catégorisées selon l'échelle de la ville, compilées dans un fichier Excel, puis sont finalement analysées.

1.2.2 Entrevues

Type et objectifs

Les entretiens semi-dirigés, avec les employés des villes, sont l'une des sources principales de données de cette étude doctorale. Selon Fortin et Gagnon (2016), les entrevues semi-dirigées sont préparées avec une liste de sujets à aborder qui sont préalablement établis et organisés en différentes questions. Ce format d'entrevue a l'avantage de posséder une structure permettant une discussion ouverte, avec l'utilisation d'un ordre flexible pour les questions permettant d'aller du général au plus précis (Lussier et Lavoie, 2022). L'utilisation d'entrevues semi-dirigées fournit ainsi la possibilité au répondant d'exprimer des opinions et des sentiments par rapport au sujet traité.

Préparation et déroulement

L'entretien est préparé à l'avance et avec un objectif bien défini. Les personnes interrogées sont choisies afin d'acquérir une compréhension plus large de leur organisation et d'identifier le niveau d'influence de la transformation numérique (TN) sur les différents départements de leur ville. Dès que le répondant accepte de passer l'entrevue, un courriel lui est envoyé afin

de fixer un rendez-vous à sa convenance. Le moment choisi pour la rencontre est important, car l'enquêteur doit faire son possible pour être disponible.

Étant donné les mesures sanitaires liées à la COVID-19, les rencontres se sont déroulées à distance en utilisant la plateforme Zoom pour la majorité des entretiens et en utilisant Teams ou l'appel téléphonique pour les interviewés qui l'ont suggéré.

Les premières entrevues ont aussi permis d'ajuster le questionnaire et de le parfaire en conséquence. Elles ont aussi servi de pratique afin d'améliorer la performance de l'enquêteur au fur et à mesure des entrevues.

Toutefois, ce n'est pas à la portée de tous d'être un bon enquêteur, il faut des qualités bien particulières pour faciliter la relation avec la personne interrogée. En effet, selon Pauzé (1984) : « Des qualités comme la patience, la tolérance, l'ouverture d'esprit, sont essentielles. Attention à ne pas influencer les réponses qui seront apportées » (Gravel et Baudin, 1994). L'enquêteur doit donc demeurer très neutre et son rôle n'est pas de discuter ou de s'imposer, mais seulement de diriger l'entretien de façon à atteindre les objectifs fixés par la recherche d'informations (Pauzé, 1984). De plus, dépendamment de l'ambiance, l'enquêteur doit pouvoir anticiper le seuil d'intimité que le répondant ne veut pas franchir (Harvatopoulos et al., 1989). En outre, l'enquêteur doit intervenir graduellement pour soutenir, reformuler, relancer et débloquer l'entretien. Il tend ainsi à lever les blocages qui peuvent gêner la communication (CRDP, 1982).

Avant le début de l'entretien, il est important de mentionner aux personnes interrogées le contexte de l'entrevue (Harvatopoulos et al., 1989). De plus, l'enquêteur doit systématiquement demander si le répondant a des questions avant de commencer l'entretien (Guittet, 1990). Toutes ces considérations sont dans le but de mettre la personne en confiance, ainsi cette dernière sera plus encline à apporter sa contribution à la recherche (Gravel et Baudin, 1994).

Le répondant est rencontré à une seule occasion ; les questions sont ainsi posées lors d'un seul et même entretien, d'où l'importance d'une bonne préparation. Avant de conclure avec le

répondant, l'enquêteur vérifie s'il est possible de le contacter à nouveau. Ainsi, si plus tard au cours de la recherche, des éléments ont été oubliés ou des informations ont été mal comprises, il sera plus facile de reprendre contact avec cette personne.

Le questionnaire d'entretien est un outil permettant de recueillir des données. Il permet de compléter et valider les renseignements disponibles provenant d'autres sources (la littérature et le sondage).

Les questions des entrevues sont organisées à partir du cadre présenté à l'article 2 (Chapitre 4). Il s'agit de six questions ouvertes qui incitent les répondants à développer leurs réponses pour chaque catégorie.

Le questionnaire reste identique dans la majorité des entrevues. Toutefois, les questions s'adaptent et se précisent selon le profil de la personne. Par exemple, le directeur des Travaux publics pourra donner de l'information qu'un directeur du département Technologie de l'Information ne pourrait pas fournir. À noter que les entretiens durent en moyenne 20 minutes. Cependant, il est arrivé qu'à la fin des entrevues, certaines personnes entament une discussion sur le sujet et apportent des commentaires, ce qui rallonge les entrevues, parfois jusqu'à 30 minutes ou plus.

Deux méthodes de cueillette des données sont utilisées : la prise de notes et l'enregistrement intégral de l'entretien. Et deux personnes mènent l'entretien : l'une s'occupe des questions pendant que l'autre prend des notes, et chacune enregistre l'entrevue de son côté. Ainsi, la personne qui prend les notes n'a pas à faire tout l'effort intellectuel que requiert la conduite d'un entretien. Ce qui permet d'écouter attentivement et de relancer le répondant au besoin pour la collecte d'un maximum d'informations.

Avant le début de l'entretien, l'enquêteur insiste sur la confidentialité des renseignements, ainsi que sur l'anonymat de la ville et de l'enquêté. Puis, il lui demande s'il accepte l'enregistrement de l'entretien. Ce dernier est enregistré en double directement avec la

plateforme Zoom et avec un dictaphone pour éviter tout risque de perte de l'enregistrement. Par la suite, les enregistrements sont sauvegardés et réécoutés au besoin lors de l'analyse.

La transcription complète et automatisée de l'audio se fait en même temps que l'entretien avec l'outil « Dictée Word pour Microsoft 365 ». Le résultat de la transcription est ajusté immédiatement après l'entretien en étant le plus fidèle possible, incluant les termes les plus précis mais aussi les fautes de langage.

1.2.3 Ateliers

Six ateliers ont été réalisés dont deux au niveau de chacune des trois villes différentes : villes A et B (Chapitre 4 / article 2) et la ville de Beaconsfield (Chapitre 6). Les ateliers au niveau des villes A et B ont été réalisés dans le cadre d'un travail préliminaire effectué dans le cadre du projet de la feuille de route gouvernementale pour le Building Information Modeling (BIM) (voir Poirier et Lafioune, 2021). Les données brutes collectées lors de ces ateliers ont été traitées et réanalysées selon le cadre développé dans cette thèse. Les ateliers au niveau de la ville de Beaconsfield ont été réalisés afin de dresser un portrait général de la ville en matière de compétences pour supporter la transformation numérique, et ils visent également à identifier les priorités et les défis.

Chaque atelier a duré 90 minutes et a été réalisé avec un nombre maximum d'employés qui exercent leurs fonctions avec des tâches en lien avec les activités de la gestion des actifs et/ou la transformation numérique. Les ateliers ont été planifiés à l'avance à l'aide de Doodle afin de regrouper le plus grand nombre possible d'employés d'une même ville en fonction de leur disponibilité.

Les résultats de l'atelier sont consolidés et servent d'appui pour améliorer, adapter et valider le précadre réalisé dans la littérature.

Étant donné la pandémie, les ateliers se sont déroulés à distance par visio-conférence. Lors des ateliers, les personnes participantes ont été séparées en sous-groupes, puis des

rapporteurs désignés ont partagé le résultat des discussions en plénière. Les ateliers ont eu lieu sur la plateforme Miro, qui est un environnement de tableau blanc interactif en ligne. Lors des ateliers, les participants ont discuté et répondu aux deux questions suivantes :

1) Comment envisagez-vous la transformation numérique de votre ville ? Quels sont vos besoins et enjeux ?

2) Quels sont les besoins prioritaires par axe (impact/valeur et effort) ?

Les participants pouvaient discuter et répondre aux questions, également écrire leurs réponses sur des post-it directement dans Miro. Les réponses ainsi recueillies traçaient un portrait de la réalité de chacune des villes. Les six ateliers ont permis de valider le précadre et de l'améliorer et les ateliers au niveau de la ville de Beaconsfield, particulièrement, ont permis d'adapter le cadre au contexte particulier de la ville de Beaconsfield et d'établir des actions concrètes.

1.2.4 Recherche documentaire

L'analyse documentaire est une méthode de collecte de données, ajoutée aux autres méthodes utilisées pour le cas de la ville de Beaconsfield. L'analyse documentaire cible les documents utilisés par la ville qui sont en lien de près ou de loin avec le sujet de recherche afin de détecter les enjeux et les freins à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. Cette documentation inclut les politiques, directives, procédures, plans stratégiques, plans directeurs, guides, normes et standards, rapports, lois, règlements, politiques et autres, en lien avec la transformation numérique et la gestion des actifs. Les détails sur les objectifs et le déroulement sont décrits au Chapitre 6.

1.3 Outils et méthodes d'analyse des données de la recherche

L'analyse du contenu, avec des méthodes classiques, préconise une approche rigoureuse et méthodique basée sur la transformation des règles de lecture en interprétation et codage, selon Berelson (1954). En premier lieu, une relecture du texte permet de repérer les éléments du cadre et les réponses aux objectifs des entrevues. Deuxièmement, l'analyse statistique est

effectuée. Il s'agit d'analyser le contenu, à savoir : la fréquence d'occurrences (redondance), les changements dépendant du locuteur, et l'interdépendance contextuelle entre les éléments du précadre.

La méthode consiste d'abord à identifier les thèmes et les tendances, mais aussi à tester les intuitions et les découvertes (Gagnon, 2005). Différentes approches qualitatives constructivistes sont utilisées. Premièrement, une approche exploratoire avec l'analyse aléatoire systémique des données textuelles résultantes de la transcription des entrevues. Ensuite, un triage de mots et un regroupement par le même sens est réalisé (l'encodage lexical). Deuxièmement, une analyse du contenu et sa mesure (par la statistique lexicale) sont faites en fonction des réponses aux questions du sondage (encodage des questions) et du cadre (encodage des freins). Troisièmement, une analyse du discours et du contenu prescrit est réalisée, suivie de la mesure du contenu (par encodage des sentiments). Le but est de vérifier le cadre de manière déductive, de l'améliorer et de le valider en fonction des nouvelles tendances.

1.3.1 Outil d'analyse des données

« NVivo version 12 » est l'outil utilisé pour l'analyse des données recueillies. Il sert à identifier la fréquence, l'ordre des mots ou des phrases utilisées par les répondants pour prioriser les éléments par degré d'importance. Cependant, un logiciel ne pense pas pour les chercheurs, en effet : « NVivo fournit un espace structuré pour organiser les idées. Il facilite la communication des idées entre chercheurs et crée un cadre plus formel. [...] » (Roy et Garon, 2022). Le codage électronique réduit les tracas du processus analytique, mais nécessite du temps pour apprendre le logiciel. Les outils technologiques facilitent ainsi l'analyse détaillée des données et permettent de générer des rapports qui sont extrêmement utiles. Cependant, coder est toujours un exercice intellectuel.

NVivo génère davantage de tableaux et graphiques et offre un meilleur support lorsque les données proviennent de nombreuses sources. Il est toutefois un peu difficile à apprendre au

départ parce qu'il possède un langage unique ainsi que divers outils d'analyse. Néanmoins, il constitue un support précieux pour la présente recherche.

1.3.2 Méthodes d'analyse des données

1.3.2.1 Encodage lexical

Un prétraitement est effectué sur l'ensemble du texte des entrevues avant tout codage des unités de texte. L'objectif est d'évaluer et de comparer les réponses afin de valider ou non le précadre. La Figure 1.4 présente l'interface, le paramétrage effectué ainsi que les résultats de l'analyse textuelle lancée avec NVivo. En faisant abstraction aux catégories du précadre, l'analyse fait apparaître les mots les plus fréquents de façon automatique.

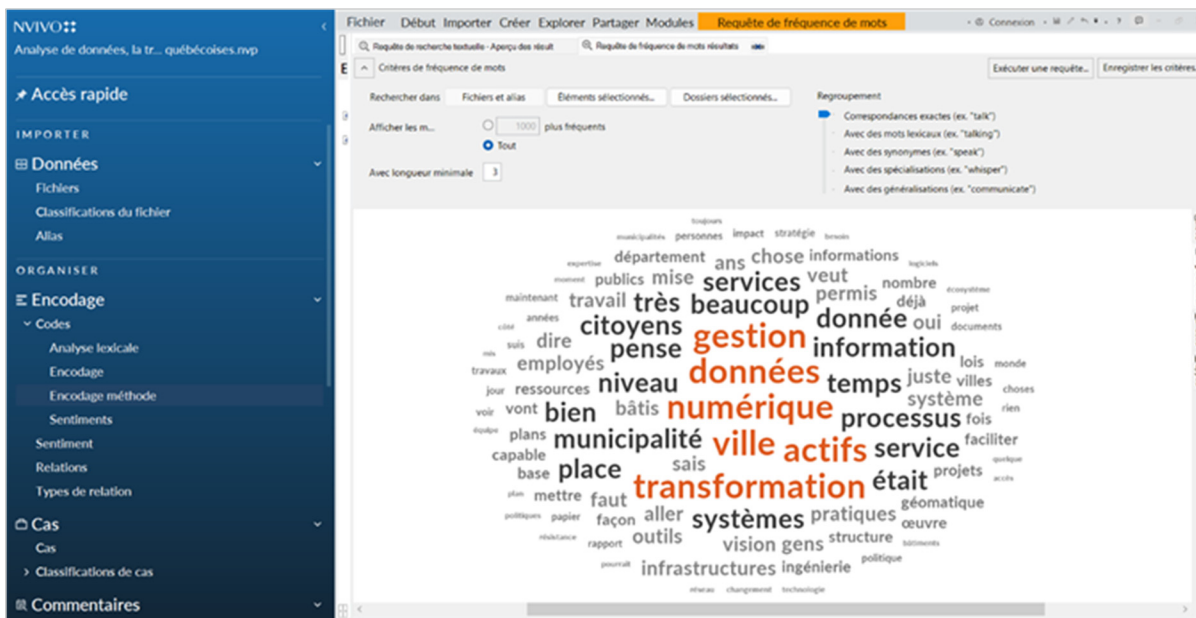


Figure 1.4 Prétraitement des transcriptions des entrevues

Source : Interface du logiciel NVivo lors du lancement des analyses

Plusieurs mots détectés ont des sens communs ou sont simplement sous une autre forme orthographique, par exemple : donné/données, information/ informations. D'autres mots ne veulent rien dire car ils ne sont pas dans une phrase, par exemple : rien, sais, suis, choses,

déjà. Un traitement manuel est fait en ayant recours au texte intégral au besoin. Les mots ayant un sens unique sont attribués et regroupés en un seul mot. Les mots redondants, sans pertinence sémantique sont filtrés avec une étude morphologique. Également, les mots qui ne participent pas activement au sens du sujet sont éliminés.

Après ce filtrage, une deuxième analyse est relancée avec NVivo (présentée dans les Chapitres 5 et 6).

1.3.2.2 Encodage par questions d’entrevues

À partir de la transcription des entrevues, les unités de texte sont encodées avec NVivo dans les « nœuds » selon les 6 questions des entrevues (Chapitres 5 et 6). Ce type d’analyse qualitative permet de faire à la fois une comparaison générale et une comparaison par taille de ville afin de mieux comprendre les freins et les besoins de chaque ville.

1.3.2.3 Encodage par catégories du cadre

À partir de la transcription des entrevues, les unités de texte concernant les freins sont encodées avec NVivo dans les « nœuds » selon les 6 catégories et les 22 sous-catégories issues du précadre. La classification de l’importance des freins (Chapitres 5 et 6) repose sur leur nombre d’itérations lors des entrevues, permettant de déterminer les principaux freins à la transformation numérique (TN) des villes québécoises.

1.3.2.4 Encodage des sentiments

L’analyse des sentiments, également appelée « extraction d’opinions », consiste à déterminer l’opinion, le jugement et les émotions qui se cachent derrière le langage naturel et spontané des répondants. Elle évalue les sentiments concernant les services, les enjeux, les individus, les sujets et leurs propriétés et d’autres entités (Liu, 2012). Son objectif principal est d’analyser les avis et de tester les scores émotionnels. Actuellement, l’analyse des sentiments est un domaine d’étude très populaire selon Elmurngi (2020). À cet effet, Thomas (2013)

divise cette analyse en trois niveaux : niveau mot/terme (Engonopoulos et al., 2011) ou niveau aspect (Zhou & Song, 2015), niveau phrase (Farra et al., 2010) et enfin, niveau document (Yessenalina et al., 2010).

Ainsi, le chercheur doit rester objectif et doit comprendre le discours pour bien l'interpréter. Toutefois, il n'est pas toujours évident d'analyser des sentiments dans un contexte particulier, tel que le secteur municipal québécois. Par ailleurs, deux points sont à mentionner ici parmi d'autres observés : l'un concerne la diversité linguistique des profils des enquêtés, et l'autre concerne le discours selon les niveaux hiérarchiques.

Les réponses et la façon de répondre aux questions des entrevues sont des empreintes de sentiments. De nombreux auteurs pensent que le niveau de précision de l'analyse des sentiments, avec les logiciels existants, génère des résultats précis à 85% ce qui est insuffisant (Elmurngi, 2020). Dans la présente étude, les enquêteurs ont fait la détection des sentiments et le classement des unités de texte de façon manuelle. Les unités ont ensuite été encodées avec NVivo en positif et négatif. L'enquêteur évalue et traite le langage naturel, puis catégorise le sentiment afin d'obtenir une vue d'ensemble des ressentis et opinions des répondants. Les sentiments négatifs regroupent la peur, la frustration, l'incompréhension, la colère et la réticence. Les sentiments positifs désignent, quant à eux, la joie, l'espoir, la motivation et l'envie. Un score est ensuite appliqué en fonction du sentiment exprimé. Le chercheur a recours à la « revisualisation » des enregistrements vidéo des entrevues et, ainsi, l'observation des gestes et l'intonation de la voix. Ceci est appliqué lorsqu'un texte contient plusieurs opinions ou des appréciations mitigées ou ambivalentes et afin d'éviter que le commentaire soit faussement classé.

1.4 Interconnexion entre les différentes méthodes d'analyse

L'analyse documentaire, les entrevues, les sondages et les ateliers sont les quatre méthodes utilisées dans cette recherche doctorale pour déterminer les freins et enjeux liés à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines et pour offrir ainsi un cadre de

transformation numérique adapté aux villes. L'interconnexion entre les résultats de ces méthodes est requise afin d'avoir une compréhension complète de la situation actuelle de la ville et de planifier les actions futures. Dans le Tableau 1.2, les méthodes utilisées sont présentées de manière individuelle, ainsi que les forces et les faiblesses de chaque méthode qui ont été ressorties.

Méthode d'analyse	Objectifs	Forces	Faiblesses
Atelier (2 questions ouvertes)	(1) Aligner les participants sur les notions de la transformation numérique. (2) Dégager la vision et les orientations pour la transformation numérique. (3) Identifier les actions entreprises et/ou en cours en termes de transformation numérique. (4) Comprendre les enjeux et les freins à cette transformation.	Les ateliers permettent des échanges et des débats à travers la discussion en petits groupes. Les répondants sont issus de différents départements de la ville, ce qui permet de confronter les idées et les besoins.	Le temps des ateliers est limité et les participants peuvent être influencés par la présence de leurs supérieurs, ce qui nuit au développement d'idée et/ou à une discussion ouverte. Regrouper un grand nombre d'employés en même temps pour participer à un atelier n'est pas une tâche évidente.
Analyse documentaire (Collecte documentaire et analyse de passages de texte)	(1) Cartographier la documentation existante concernant la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. (2) Identifier les lacunes dans la documentation existante concernant de près ou de loin la transformation numérique. (3) Détecter l'absence ou la présence de la documentation. (4) Comprendre la portée de la stratégie de la transformation numérique des actifs bâtis dans la municipalité et son impact.	Les documents supportent concrètement la présence ou l'absence de procédure de la transformation numérique à Beaconsfield.	La collecte documentaire est lente et rigoureuse. Les documents anciens doivent être vérifiés pour affirmer leur validité. Il y a une marge d'erreur présente dans l'interprétation du texte analysé selon la perception du chercheur.

À suivre

Tableau 1.2 Méthodes d'analyse et leurs forces et faiblesses (suite)

Méthode d'analyse	Objectifs	Forces	Faiblesses
Atelier (2 questions ouvertes)	(1) Dresser un portrait global des efforts de la TN des actifs d'infrastructures urbaines dans le milieu municipal canadien. (2) Identifier les freins et défis de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines auxquels sont confrontées les villes canadiennes. (3) Comprendre la structure organisationnelle en place et s'il y a des initiatives prises ou pensées pour mener le changement organisationnel de la transformation numérique. (4) Comprendre la portée de la stratégie de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines dans la ville et de son impact sur la réglementation, les politiques et les contrats, ainsi que les processus et pratiques en cours, les ressources humaines et l'écosystème numérique de la ville.	Encodage lexical L'encodage lexical des entrevues permet de regrouper les mots du même sens ou définition. Il facilite la représentation des grandes catégories pour illustrer les résultats d'une manière simple et visuelle. L'utilisation d'un outil comme NVivo pour regrouper ces mots en catégories (champ lexical) facilite l'analyse du texte et la détection des catégories rapidement. Encodage des questions et encodage des freins Les entrevues sont semi-dirigées et permettent aux répondants d'avoir une meilleure compréhension des questions posées. Ils sont ainsi en mesure de répondre de manière plus précise. L'encodage des freins permet de détecter et classer les freins directement dans des catégories. Le classement de l'importance des freins dépend de leur quantité. Encodage des sentiments Dans cette recherche, l'encodage des sentiments est utilisé pour relier la question aux sentiments qu'elle génère. Il produit une autre manière de comprendre et d'analyser la réalité.	L'encodage lexical est une procédure plus au moins longue puisque les mots détectés par le logiciel doivent être affinés manuellement. Cet encodage est susceptible à la répétition de mots clés, principalement lorsque le répondant emploie des termes identiques pour appuyer des idées divergentes. Le temps d'apprentissage du logiciel est à prévoir ainsi que plusieurs essais d'encodage. L'interprétation du langage utilisé par le répondant contient une marge d'erreur affectant ainsi le résultat en créant une disparité entre la perception et la réalité. Pour atténuer cet effet, le chercheur doit avoir une expertise dans le domaine. Il est préférable que le chercheur soit accompagné d'un autre chercheur et que l'interprétation soit discutée entre eux. Si les sentiments des répondants sont dissimulés, l'encodage des sentiments n'est pas possible.
Sondage (25 questions fermées et précises)		Sondage Les sondages n'ont aucune limite de temps et sont libres. Étant anonymes, il n'y a pas de pression des supérieurs pouvant affecter les réponses des répondants.	Le manque de supervision, la volonté de ne pas nuire à la réputation de la ville, ainsi que la méconnaissance de la réponse ou de la question peuvent tous affecter les réponses des sondages.

Le plus grand avantage à utiliser quatre méthodes différentes est la comparaison des besoins et des freins déterminés par chaque méthode pour obtenir une vision systémique au niveau des différents départements et groupes multidisciplinaires. D'un côté, la comparaison des résultats des différentes méthodes confirme et valide l'importance d'un frein par rapport à un autre. Par exemple, en analysant les documents de la ville de Beaconsfield, la gestion des données est ressortie comme un frein majeur. Ce résultat ressort aussi des autres méthodes, ce qui valide son exactitude.

D'un autre côté, l'interconnexion des résultats des différentes méthodes permet de détecter puis de combler les lacunes de chacune des méthodes. Par exemple, la perception des chercheurs au départ est que les réactions et comportements des employés étaient dus à la résistance au changement. Il s'est avéré, avec l'aide de l'analyse des sentiments, que la majorité des employés ont la volonté d'entreprendre une transformation numérique. Cependant, comme cette procédure n'est pas bien claire, elle est entreprise de façon aléatoire, les employés expriment leur colère et une grande frustration. Ceci est confirmé par toutes les autres méthodes d'analyse, à part le sondage, qui, seul, l'affirme. Par conséquent, les chercheurs concluent que c'est une lacune au niveau du sondage.

CHAPITRE 2

TERMINOLOGIES, PROCESSUS ET CONCEPTS NUMÉRIQUES

Le Chapitre 2 présente comment la littérature définit la transformation numérique, la gestion des actifs d'infrastructures urbaines et le jumeau numérique. En outre, il fait la distinction entre Facility, Asset et Property manager. Ensuite, il présente les activités de gestion des actifs regroupées sur le cycle de vie, et il assigne quelques sujets étudiés à l'activité lui correspondant. Le but est d'offrir une vision sur l'ensemble des activités de gestion des actifs sur le cycle de vie, de montrer l'emplacement des sujets sur chaque phase, d'expliquer que chaque sujet se limite à une phase bien précise et il n'est pas forcément conçu pour l'ensemble des activités.

2.1 Transformation numérique

De nouvelles et anciennes approches visant à transformer numériquement le secteur public municipal sont continuellement introduites. La littérature trouvée couvre largement ce sujet et le présente sous différents angles, tels que : l'administration en ligne, le gouvernement électronique (E. gouvernement), les gouvernements ouverts, la ville numérique, la ville intelligente, etc. Le Tableau 2.1 regroupe quelques définitions de la transformation numérique trouvées dans la littérature.

Tableau 2.1 Définitions de la transformation numérique

« [La transformation numérique est] un processus qui vise à améliorer une entité en déclenchant des changements significatifs à ses propriétés par le biais de combinaisons d'information, d'informatique, de communication et les technologies de connectivité » Traduction libre	Vial (2019, p. 121)
La transformation numérique peut être décrite comme un processus par lequel les technologies numériques alimentent les perturbations du comportement des clients et du paysage concurrentiel, ce qui entraîne des réponses stratégiques organisationnelles et conduit finalement à une transformation de l'organisation.	Wessel et al. (2021)
La transformation numérique est une organisation de transformation par laquelle une organisation transforme ses opérations commerciales, ses produits et ses processus pour tirer parti des nouvelles technologies .	Matt et al. (2015)
Comparée à d'autres transformations organisationnelles basées sur les technologies de l'informatique, la transformation numérique est considérée comme la prochaine étape après la numérisation.	Verhoef et al. (2021)
La transformation numérique suit la numérisation comme prochaine étape, dans laquelle les technologies numériques ne se contentent pas de soutenir les propositions de valeur existantes de l'organisation, mais tirent parti de leur (re)définition. Le fait de modifier non seulement les processus, mais aussi les propositions de valeur de l'organisation devrait entraîner l'émergence d'une nouvelle identité organisationnelle.	Berghaus et Back (2016)
La transformation numérique tire parti de leur (re)définition grâce à l'intégration de ces technologies dans le cadre des opérations de base de l'organisation.	Bockschecker et al. (2018)
La transformation numérique ressemble et intègre des éléments des transformations organisationnelles informatiques précédentes, mais diffère d'elles en raison de sa rapidité et de son exhaustivité.	Chanias et al. (2019)
Les changements importants visant à améliorer l'efficacité organisationnelle et l'avantage concurrentiel dans l'ensemble de l'organisation.	Kahre et al. (2017)
La transformation numérique devrait améliorer la performance à la fois en augmentant l'efficacité et l'innovation.	Bekkhus (2016);
En créant de nouvelles compétences et aptitudes, telles que la capacité d'utiliser de nouvelles technologies perturbatrices et analyse de données.	Demirkan et al. (2016)
L'utilisation des technologies numériques est également considérée comme le catalyseur de l'activité de transformation numérique, appelée changement des voies de création de valeur de l'organisation et, éventuellement, générant des impacts positifs, tels que l'efficacité opérationnelle, mais aussi des impacts négatifs, tels que des questions liées à la sécurité et à la confidentialité.	Ylinen, M. (2021)
L'objectif de la transformation numérique est l'obtention de meilleurs résultats avec moins de ressources en améliorant la façon dont les services sont fournis.	Ruud (2017)

Dans la majorité des définitions : la technologie est l'outil, la cible est l'organisation, l'objectif est l'amélioration et le résultat est un service meilleur.

2.2 Gestion des actifs d'infrastructures urbaines

Cette section décortique et explique mot à mot l'expression « gestion des actifs d'infrastructures urbaines » qui sera souvent mentionnée dans cette thèse. Ensuite, elle présente et compare entre le gestionnaire d'installation, le gestionnaire d'actifs et le gestionnaire des biens immobiliers (*Facility, Asset et Property manager*). Le but est d'éclaircir les rôles de chacun afin de ne pas les confondre entre eux.

2.2.1 Définitions de la gestion des actifs

Le Tableau 2.2 regroupe quelques définitions de la gestion des actifs, indiquée en anglais par *Asset Management (AM)*.

Tableau 2.2 Définitions de la gestion des actifs

La combinaison des pratiques de la gestion, de la finance, de l'économie, de l'ingénierie et d'autres pratiques appliquées à des actifs physiques dans l'objectif de fournir le niveau de service requis de la manière la plus efficiente (<i>cost-effective</i>).	IIMM, (Version 3.0, 2006)
Rencontrer les niveaux de services convenus avec les clients qui respectent l'environnement tout en minimisant les coûts sur le cycle de vie.	SPU (Seattle, INFRA 2008)
Activités et pratiques systématiques et coordonnées par lesquelles une organisation gère de façon optimale et durable ses actifs et ses groupes d'actifs en tenant compte de leur performance, des risques et des coûts sur leur cycle de vie afin d'atteindre les objectifs stratégiques de l'organisation.	PAS55- 1:2008
Gestion des actifs : « les activités coordonnées d'une organisation qui lui permettent de réaliser de la valeur à partir de ses actifs ». ISO 55000 précise que la gestion des actifs est basée sur quatre principes fondamentaux : <ul style="list-style-type: none"> • Valeur • Alignement avec les objectifs stratégiques de l'organisation • Leadership • Assurance (combinaison de la surveillance et de la vérification). 	ISO 55000:2014
« La gestion des actifs est une discipline holistique et ne peut être réalisée qu'en incluant l'ensemble des activités qui en font partie. » Holistique : s'applique à toute démarche globalisante où divers éléments, habituellement isolés, sont regroupés et coordonnés pour l'obtention plus efficace d'un résultat visé (Office de la langue française). Une bonne gestion des actifs : <ul style="list-style-type: none"> • Est stratégique, c'est-à-dire alignée avec les orientations stratégiques de l'organisation. • Doit être implantée au niveau corporatif et étendue à tous les départements (éliminer les silos). • Doit être appliquée à tous les niveaux de décision et de gestion (direction générale, directeurs et gestionnaires ainsi que les délégataires d'activités). • Doit équilibrer les coûts, les risques et la performance sur différents horizons de temps. • Doit s'appliquer autant aux actifs physiques qu'aux actifs intangibles (information, ressources humaines). • Peut s'appliquer autant aux organisations privées que publiques. 	IAM (2014)
La gestion des actifs est un processus continu (circulaire ou permanent) qui doit faire l'objet d'un examen et d'une amélioration continue.	AIMN (2016)

2.2.2 Actif, infrastructure, actifs d'infrastructure, actifs d'infrastructures urbaines

Un actif est « [un] élément, une chose ou une entité qui a une valeur potentielle ou actuelle pour une organisation » (ISO 55000:2014). La Figure 2.1 présente quelques types d'actifs.

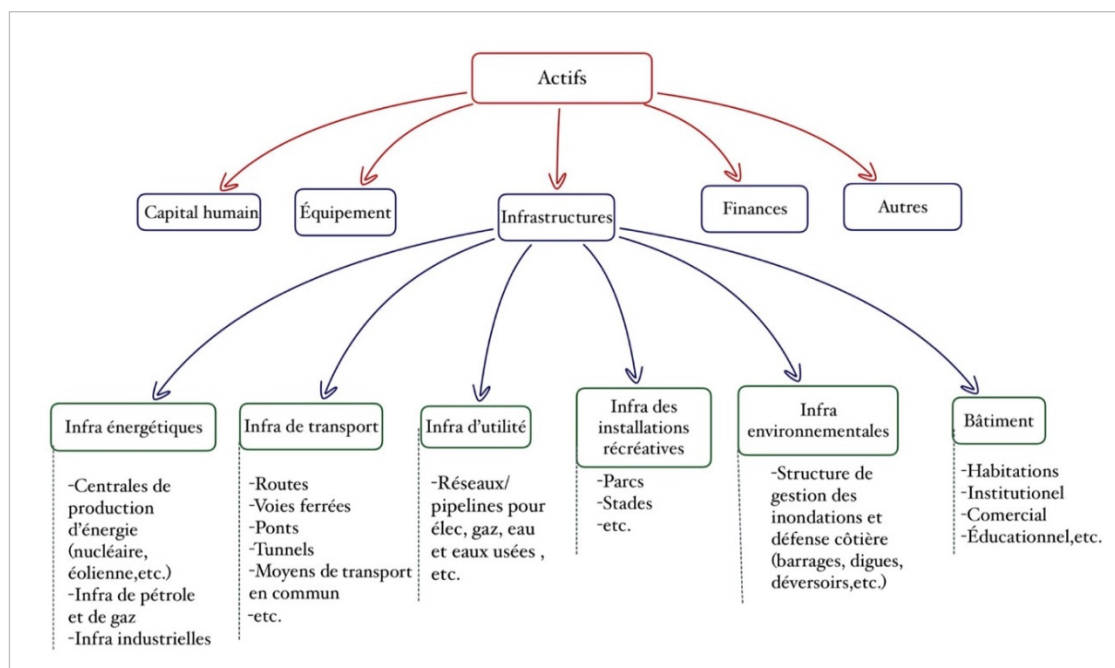


Figure 2.1 Types d'actifs

Le terme « infrastructure » est défini dans le dictionnaire Oxford comme étant « les structures physiques et organisationnelles de base et les installations nécessaires à l'opération d'une société ou d'une entreprise » (Oxford University Press, 2016, traduction libre).

Plus précisément : « Toute infrastructure est un actif, mais tout actif n'est pas nécessairement une infrastructure. [...], une infrastructure constitue un ouvrage de génie civil alors que les actifs comprennent, en plus des infrastructures, les véhicules de transport en commun, l'équipement, les parcs et terrains de jeux, les bâtiments, etc. » (MAMOT et CERIU, 2014). La présente thèse s'intéresse aux infrastructures urbaines.

2.2.3 Gestionnaire d'installation, gestionnaire d'actifs et gestionnaire des biens immobiliers (*Facility, Asset et Property manager*)

Il est important de faire la distinction entre ces trois fonctions, à savoir : gestionnaire d'installation, gestionnaire d'actif et gestionnaire des biens immobiliers (*Facility, Asset et Property manager*). Même si le gestionnaire d'actifs et le gestionnaire de biens immobiliers travaillent ensemble, ils ont néanmoins des activités bien distinctes : ils interviennent sur des phases différentes de vie de l'actif. Ces trois gestionnaires peuvent être propriétaires ou représenter le propriétaire. La confusion quant à l'identité de chacun conduit parfois à de fausses attentes ou de mauvaises interprétations de leurs visions et objectifs. Le Tableau 2.3 résume la définition et quelques missions de chacun.

Tableau 2.3 Différence entre gestionnaire d'installation, gestionnaire d'actifs et gestionnaire des biens immobiliers

Gestionnaire d'installation (Facility manager)	Gestionnaire d'actifs (Asset manager)	Gestionnaire des biens immobiliers (Property manager)
<ul style="list-style-type: none"> • Pour le <i>Facility manager</i>, l'infrastructure bâtie est un moyen d'atteindre un but, à savoir, un environnement de travail optimal. • Il est un représentant de l'utilisateur/occupant du bâtiment. • Sa priorité est d'augmenter l'efficacité et la productivité de l'utilisateur. • Il agit sur le principe suivant: prise en compte de l'ensemble du cycle de vie d'un actif. • Il est axé sur les besoins et les exigences du lieu de travail des utilisateurs finaux et des occupants. • Le gestionnaire d'installation contrôle le côté dépenses du budget des biens immobiliers. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pour l'<i>Asset manager</i>, l'ensemble des actifs est une fin en soi. • Il offre de l'aide et des conseils au représentant de l'actif à l'investisseur/propriétaire. • Sa priorité est de « fournir le niveau de service requis au meilleur coût possible pour les utilisateurs présents et futurs ». • Il agit sur le principe suivant : la prise en compte du cycle d'activité planifié d'un actif, qui est déterminé en fonction de la collecte de données réelles et à jour définissant l'état de l'ensemble des actifs et la priorité d'intervention. • Le gestionnaire d'actifs optimise les interventions et valorise les actifs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pour le <i>Property manager</i>, le bâtiment est une fin en soi. • Il est un représentant de l'immeuble: investisseur /propriétaire. • Sa priorité est d'augmenter le revenu net d'exploitation et la valeur du bâtiment. • Il agit sur le principe suivant : la prise en compte du cycle d'activité planifié d'un actif, qui est déterminé en fonction du contrat de location. • Il se concentre sur la gestion des relations propriétaires/ locataires afin de réaliser un équilibre des intérêts. • Le gestionnaire immobilier contrôle tous les revenus et toutes les dépenses générées par les propriétés pour leurs clients investisseurs/propriétaires.
<p>(Rondeau & al., 2012); (Kincaid, D., 1994); (Atkin&Bildsten, 2017); (Nävy, J, 2018); (Roper & Payant, 2014); (Nor&Azman, 2014)</p>	<p>(Mohseni, 2003); (Davis, 2016); (Vanier, 2001); (Desbien, 2016); (Maletič & al., 2022); (Almeida, 2022); (ISO 55000:2014); (Ford & al., 2022)</p>	<p>(Fuerst, 2009); (De Toni & Nonino, 2009); (Dejaco & al., 2020); (Ogunba, 2021); (Yau & Lau, 2016)</p>

2.3 Jumeau numérique (JN) / Digital Twin (DT)

Le jumeau numérique fait référence à une réplique numérique des actifs physiques, processus et systèmes (Lu et al., 2020). En termes simples, le jumeau numérique est une représentation numérique dynamique d'un actif ou d'un système qui imite son comportement réel (GE Digital 2017; Bolton et al., 2018). Il fournit à la fois les éléments et la dynamique du fonctionnement de l'actif tout au long de son cycle de vie (Supply Chain News, 2017). Le jumeau numérique intègre également l'intelligence artificielle. Il a évolué comme une approche globale pour gérer, planifier, prédire et démontrer les différentes étapes de la construction d'un actif, de la conception jusqu'à la maintenance sur tout son cycle de vie (Lu et al., 2020).

Aperçu de la littérature

Le concept du jumeau numérique a d'abord été développé dans le domaine de l'aérospatial et défini comme « une réingénierie de la prédiction et de la gestion structurelle de la vie » (Tuegel & al., 2011). Il a été introduit en 2003 dans le cadre d'un cours universitaire sur la gestion du cycle de vie des produits (Grieves, 2014). Par la suite, le jumeau numérique apparaît dans la fabrication de produits (Boschert & al., 2016; Schleich & al., 2017). Malgré l'intérêt autour du concept du jumeau numérique, la recherche dans ce domaine reste rare (Boje & al., 2020) même si plusieurs études récentes adoptent diverses perspectives sur la composition conceptuelle d'un jumeau numérique, comme un paradigme d'intégration virtuelle-data-physique (Qi & Tao, 2018; Tao & al., 2018; Zheng, Yang & Cheng, 2019; Alam & El Saddik, 2017).

Par ailleurs, l'influence du jumeau numérique sur la prise de décision et les possibilités qu'il peut offrir a suscité l'intérêt de la présente thèse. Entre autres raisons, il faut citer l'importante capacité du jumeau numérique à interconnecter les données; sa possibilité d'être intégré avec l'internet des objets (IoT); et son potentiel à simuler, prédire et optimiser le cycle de vie des actifs.

En outre, le jumeau numérique est capable de traiter une énorme quantité de données (Howell & Rezgui, 2018; Qi & Tao, 2018) et d'interconnecter plusieurs bases de données. À l'instar du BIM, il constitue une source importante de données. D'ailleurs, le BIM est considéré comme le point de départ du jumeau numérique (Howell & Rezgui, 2018; Patterson, Taylor & Bankhead, 2016). La viabilité d'un jumeau numérique dépend de la capacité à représenter correctement les données et sa sémantique, et de rendre la totalité des ensembles de données disponibles pour le traitement des connaissances (Boje & al., 2020). Ainsi, le jumeau numérique est capable d'apprendre et de prendre des décisions grâce à sa base de connaissances qui fait partie de son intelligence artificielle (Qi & Tao, 2018; Zheng, Yang & Cheng, 2019).

Également, le jumeau numérique s'intègre avec les dispositifs de l'internet des objets (IoT), contrairement au BIM, et il est donc capable de combler l'écart entre le monde virtuel et le monde réel en temps réel. Howell et Rezgui (2018) sont d'avis que le BIM n'est pas prêt à être intégré avec les dispositifs de l'internet des objets en raison de ses formats qui ne sont pas alignés avec la vision du web sémantique. En outre, Ding et al. (2018) présentent un cadre conceptuel pour l'intégration des dispositifs de l'internet des objets avec des modèles BIM afin de surveiller les actifs réels sur place, mais ne traitent pas de ses limites technologiques.

Le jumeau numérique permet de simuler, d'optimiser, de prédire et de prendre des décisions de manière dynamique grâce à son intelligence artificielle, qui est un élément essentiel pour un calcul de niveau supérieur (Boje & al., 2020). Ainsi, le jumeau numérique devrait simuler les objets du monde réel avec un très grand niveau de précision (Batty, 2018). Les objectifs de la simulation sont variés et dépendent des différents niveaux du jumeau numérique. Toutefois, la simulation d'une infrastructure urbaine n'a pas les mêmes objectifs que la simulation de toute une ville. Patterson & al. (2016) discutent de l'importance de la simulation sur les éléments finis de l'intégrité structurelle des centrales nucléaires, tout comme Ding & al. (2018) qui en discutent pour la surveillance de l'état structurel des ponts sur leur cycle de vie. Ils concluent que la conception des structures d'infrastructure urbaine a

un impact considérable sur les coûts d'exploitation tout au long du cycle de vie. Les objectifs d'optimisation de la construction ne coïncident pas toujours avec ceux de l'opération, « créant une faille pendant le cycle de vie » (Boje & al., 2020).

Le jumeau numérique prévoit le comportement futur des actifs ainsi que leurs états. La prévision et l'optimisation avec le BIM sont limitées aux étapes avant la livraison du projet de construction, et même pendant cette étape, car le BIM ne peut pas inclure des calculs complexes selon Boje & al. (2020). Ces derniers suggèrent que des actions sur l'objet physique suivent la prévision du jumeau numérique. D'autres auteurs sont du même avis, mais utilisent des termes différents tels que : « modélisation prédictive » ou prévisible (Qi & Tao, 2018; Madni, Madni & Lucero, 2019; Patterson & al., 2016); « prévision de la vie structurelle » (Tuegel, Ingraffea, Eason & Spottswood, 2011); ou même « prévoir et agir » (Tomko & Winter, 2019). Tout de même, il faut vérifier et valider la prévision et étudier les conséquences de l'action à prendre sur le physique. En effet : « Le [jumeau numérique] stimule les actions du monde réel, qu'elles soient réactives ou proactives aux changements de l'environnement. Il prévoit le sens de la modélisation à plusieurs dimensions, étant donné que l'information est obsolète et désynchronisée » (Boje et al., 2020, traduction libre).

Les recherches examinées sur le jumeau numérique traitent en majorité les dimensions, processus et technologie. Cependant, aucun article trouvé sur le jumeau numérique n'aborde la dimension organisation, plus précisément la stratégie de son déploiement. Il s'agit d'une problématique qui a déjà été constatée pour les autres technologies.

2.4 Localisation des concepts numériques selon les activités de gestion des actifs

Plusieurs technologies et processus numériques ont précédé le jumeau numérique. Chacun s'est concentré sur une ou quelques activités précises de la gestion des actifs. La présente section présente quelques-uns. Premièrement, une revue de la littérature est effectuée afin de comprendre, identifier et localiser les activités de la gestion des actifs qu'ils prennent en

considération. Deuxièmement, la thèse essaye de synthétiser et de résumer l'ensemble en une seule présentation à la fin de ce Chapitre 2, ce qui offre une vision systémique, tout le long de la vie d'un actif.

2.4.1 Aperçu de la littérature

Depuis les vingt dernières années, de nombreuses recherches mettent l'accent sur l'amélioration des activités de la gestion des actifs du point de vue organisationnel, technologique et informationnel (Volk et al., 2014; Alvarez-Romero et S.O., 2014; Lee et al., 2013) et présentent une gestion intelligente des installations urbaines en temps réel via des capteurs, en combinant Building Information Modeling (BIM) et Geographic Information System (GIS). Róka-Madarász et al. (2016) élaborent une méthodologie pour la collecte des données des coûts d'entretien et de maintien du bâtiment. Également, Chen et al. (2018) proposent un cadre BIM pour la planification automatique de la gestion des installations et des travaux d'entretien.

Ces recherches se concentrent et ciblent une ou plusieurs activités de la gestion des actifs, mais n'examinent pas les problèmes avec une vision systémique, ce qui engendre une perte et une fragmentation de l'information entre les phases de réalisation et de l'exploitation de l'actif. Par exemple, Lu & al. (2020) fournissent une analyse et un examen complets des dernières recherches qui ont une incidence sur l'intégration du BIM et la gestion des actifs au cours de la phase d'exploitation et de maintenance (O & M). Lu & al. (2020) confirment « [qu']il n'existe pas de cadres généraux holistiques qui appuient l'harmonisation des normes stratégiques, des processus et des normes techniques. »

À cet effet, le Tableau 2.4 présente quelques recherches, incluant des concepts et processus numériques apportés aux activités de gestion des actifs, et indique les activités de la gestion des actifs où ces recherches sont limitées et/ou concentrées.

Tableau 2.4 Exemples de recherches reliant des activités de la gestion des actifs et concepts numériques repérés

Activité de la gestion des actifs	Points discutés	Références
Gestion de projet de construction/BIM	Regard avec une loupe sur les outils : obstacles à l'adoption du BIM; transfert d'information entre les systèmes d'information et perte de données; redondance d'information/vitesse de flux d'information.	Demian, P. & Walters, D., (2014)
Gestion des installations (Facility management)	<ul style="list-style-type: none"> – Propose un modèle intégré d'information sur les actifs (AIM). – Utilisation de : IFC (ISO16739)/ AIM/ CMIS / OIR / AIR / PIM / COBie / PAS 1192-3 : 2014 entre la construction, mais il manque les exigences du propriétaire tout au long du cycle de vie d'un bâtiment. 	Patacas, J. M. D. L. & al., (2016)
Gestion de l'information lors de la gestion de projet de construction/BIM	<ul style="list-style-type: none"> – Soulève la difficulté d'utiliser le BIM pour la gestion de l'information sur le cycle de vie. 1. Fragmentation des phases du cycle de vie des projets de construction, les phases : initiation, conception, construction et phase d'exploitation et d'entretien. 2. Fragmentation dans différents groupes d'acteurs d'un projet. 3. Fragmentation de divers projets uniques avec un manque d'apprentissage et de normalisation entre les projets. – Démontre la nécessité d'un cadre de communication approprié pour fonder un système de gestion de la construction. 	Hoerber, H., & Alsem, D. (2016)
Gestion de projet / BIM Facility management (FM)	<ul style="list-style-type: none"> – Se concentre sur le processus d'échange de données sur les actifs en utilisant COBie et propose un modèle de processus life cycle Exchange of Asset Data (LEAD) pour gérer les données sur les actifs entre tous les acteurs du bâtiment, de la conception à la gestion des installations. – Il se sert du BIM (documents stratégiques du BIM; EIR; AIR; plans d'exécution BIM (BEP), etc.) pour guider le processus d'échange de données d'actifs à l'aide de COBie et offre un cadre conceptuel de gestion des actifs. 	Alnaggar, A., & Pitt, M., 2019

À suivre

Tableau 2.4 : Exemples de recherches reliant des activités de la gestion des actifs et concepts numériques repérés (Suite)

Activité de la gestion des actifs	Points discutés	Références
Gestion de projet / BIM / Opération	Propose un cadre pour la gestion de l'information en phase d'opération, il se concentre sur le projet de construction et ne prend pas en considération les autres activités de la gestion des actifs.	Xu, X., & al., 2014
Gestion de l'information	Offre un cadre de gestion de l'information sur le cycle de vie d'un actif. Il essaye de relier les livrables physiques et numériques.	Succar, B., & Poirier, E., 2020
Gestion de la construction BIM / GIS / FM	<ul style="list-style-type: none"> – Les systèmes comme SIG et CMMS fonctionnent indépendamment car ce sont des bases de données distinctes de leurs exploitations pour FM, ce qui rend les informations erronées et non intégrées. – COBie pour ne pas dupliquer la géométrie et qui peut être utilisé comme mécanisme d'audit des modèles tout au long des phases de projet. – Les bénéfices du BIM sont dynamiques car le propriétaire d'actif doit constamment remettre en question le processus de mise en œuvre du BIM. 	Love, P. E., & al., 2014

2.4.2 Vision systémique sur les activités de gestion des actifs

La Figure 2.2 représente la répartition de processus, méthodes, normes et technologies d'aide à la décision sur les activités de la gestion des actifs tout au long de la vie d'un actif. Elle donne une idée sur l'ampleur de la gestion des actifs et le nombre de parties prenantes qui doivent collaborer pour une gestion intégrée. D'ailleurs, la gestion des actifs considère l'ensemble des ressources humaines qui interviennent à toutes les activités de l'organisation comme un actif à gérer (IAM, 2014) étant donné leurs impacts sur tous les niveaux.

2.5 Conclusion

Ce Chapitre 2 a présenté un ensemble de sujets (terminologies, processus, concepts, etc.) assignés aux activités de la gestion des actifs. La plupart des sujets ne servent qu'à une phase sur le cycle de vie. La Figure 2.2 a conclu ce Chapitre 2, elle a montré la transition d'une activité à l'autre où les parties prenantes changent et, par conséquent, l'information se perd et devient fragmentée. Elle attire l'attention sur le niveau d'intégration de ces sujets. Les Chapitres 3, 4 et 5 présentent les trois articles soumis dans le cadre de la présente thèse.

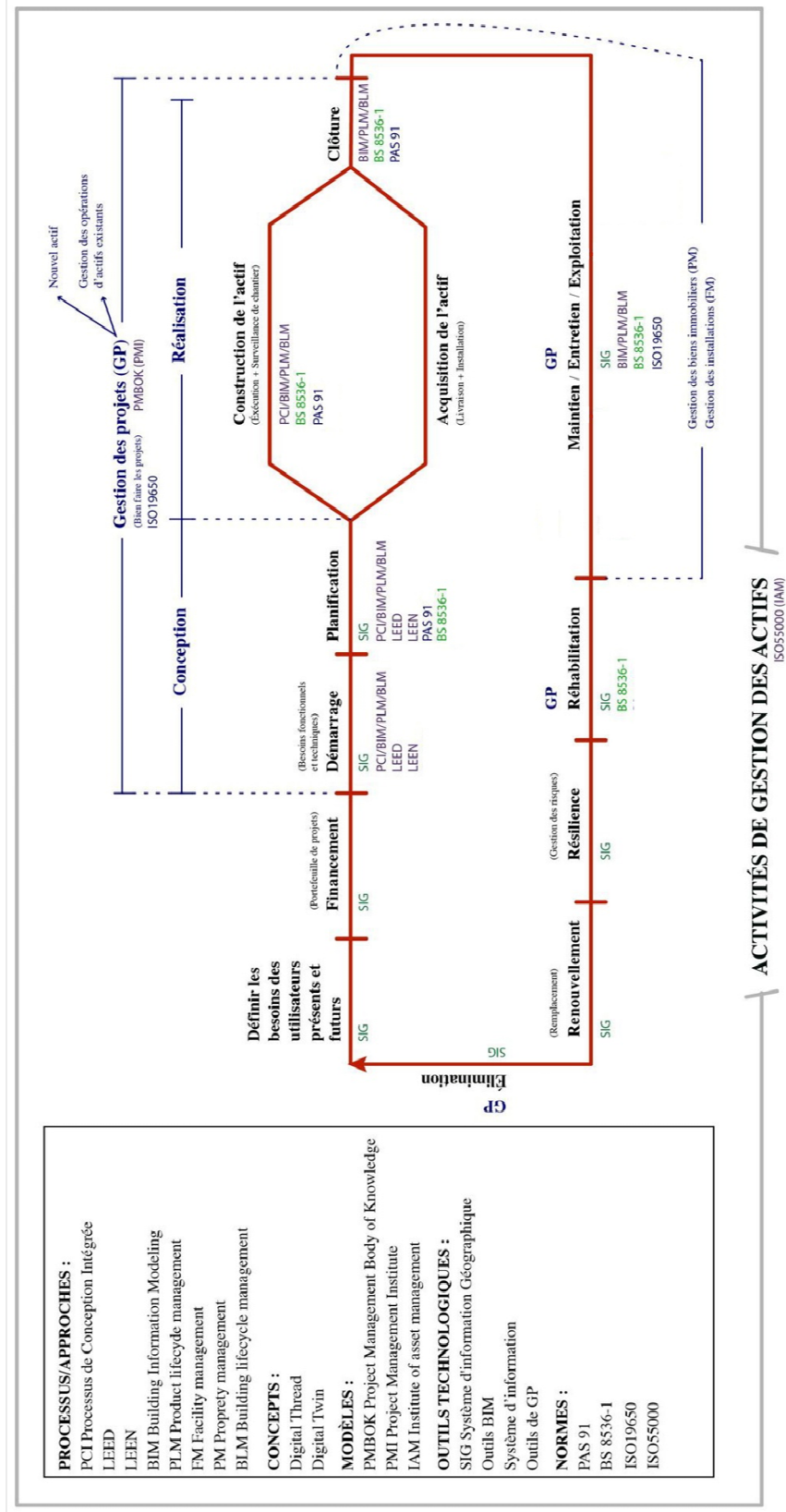


Figure 2.2 Assignment des concepts numériques aux activités de gestion des actifs

CHAPITRE 3

TOWARDS THE CREATION OF A SEARCHABLE 3D SMART CITY MODEL

Nawel Lafioune¹ and Michèle St-Jacques¹

¹Department of Construction Engineering, École de Technologie Supérieure,
1100 Notre-Dame West, Montreal, Quebec, (H3C 1K3) Canada

Article published in « Innovation & Management »,
July 2020, Vol. 17 No. 3, 2020 pp. 285-305

3.1 Abstract

Purpose – This paper aims to create a new searchable 3D city model to help managers improve their decision-making.

Design/methodology/approach – This paper identifies data management basics and the key elements used in the new model design; it further analyzes five-city models, presents its findings and proposes analytical trends for the new model. It discusses the concepts underlying existing models, explains the benefit brought by the proposed model and demonstrates its robustness.

Findings – City systems can be interconnected, thanks to data digitization and the integration of new technologies into different management processes. Although there are several 3D city models available, none of those identified in this research can be queried for several sectors.

Research limitations/implications – This model design can only be successfully realized in the presence of a public mandate. Potential limitations include information security risks and political non- acceptance.

Originality/value – The present work proposes a searchable and high performance model having the distinctive capacity to bring together city systems and perform real-time data analysis in order to extract important information needed to guide the city, and in the context of a global vision.

3.2 Introduction

A city is a system of systems (Wu et al., 2018). City systems can typically be classified under four categories, namely, population, government/municipal authorities, territory and infrastructures (Dameri, 2014):

Worldwide, there are over 3.3 billion people living in cities. Presently, while cities take up barely 2 per cent of the earth's surface, they are home to 50 per cent of the world population, consume 75 per cent all the energy produced, and are responsible for 80 per cent of all CO₂ emissions (Soucy, 2016).

In terms of city management, decisions are made in the context of challenges, which are not only economic, social and environmental but which can also be in the form of often competing and conflicting interests among managers. A review of a few management strategies, processes and types allowed us to observe and identify the limitations inherent in existing management domains: low digital and technological maturity; lack of a strategic vision for sustainable development; problem resolution limitations, and the emergence of new problems; silo management; scope of human resource and change management; and the importance of managing and owning data.

In the face of issues that are constantly increasing in scope and complexity, the solutions proffered to aid in decision-making are also becoming ever smarter. These include, for example, the blockchain, building information modeling (BIM), Geographic Information System (GIS), the smart city and digital 3D city models. All these solutions are based on data and rely on technology, which explains the need to review the literature on all of them and to understand how to use existing databases when designing the city.

Data centralization raises certain concerns in terms of their control, security and ownership. Financial institutions, for instance, consider data and transaction security as a critical issue. Some use the blockchain technology to resolve data centralization problems, which is why the blockchain and the IOTA tangle and its operation will be included in our review of the literature on currently implemented solutions. Although BIM and GIS are both based on a

structured and searchable database, BIM is mostly used for vertical infrastructures (e.g. buildings), whereas GIS is used for horizontal infrastructures (e.g. roadways).

According to Cocchia (2013), the digital city allows people to interact and share knowledge within a virtual digital space, but the idea of improving citizens' life is not explicitly laid out.

The smart city is a political initiative based on a sustainable development strategy and aims to improve the quality of life of citizens. This strategy matches the targets of the present study perfectly. The smart city considers the four city systems (population, government/municipal authorities, the territory and infrastructures), much like what is called for in the present study. However, it tackles the management of each system separately because each one is led by professional managers, who specialize in specific areas of expertise, and have multiple perceptions. Although the smart city banks on the use of technologies, it does, however, use different decision support systems, with each such system dedicated to a single management type. Of note though, is the fact that these technologies do not shape or aggregate the different managers' individual thought processes.

The human brain does not have the capacity to store a huge database or to query the different city systems. That is why managers use digital 3D models which highlight both convergent and divergent elements having to do with understanding the complexity of city management. Nevertheless, during the model design, most existing models are limited to visualization or a very specific analysis type.

A variety of management domains have emerged to handle city systems and challenges. Data, particularly respecting assets, water, transport, construction projects, environmental quality, wastes and human resources, is managed at the most basic level. All management domains resolve some of a city's problems, and this solution must comprise a holistic, global and transdisciplinary vision. The solution proposed for resolving the city's problems is based on interconnection of the different systems. Figure 3.1 illustrates how systems are managed

and proposes a means for interconnecting them. The solution consists of managing all city systems in an integrated fashion with a view to their sustainable development and resilience.

The city's systems can be interconnected through digitization and the integration of new technologies into different management domains. Underpinning this is a searchable mega database of the entire city.

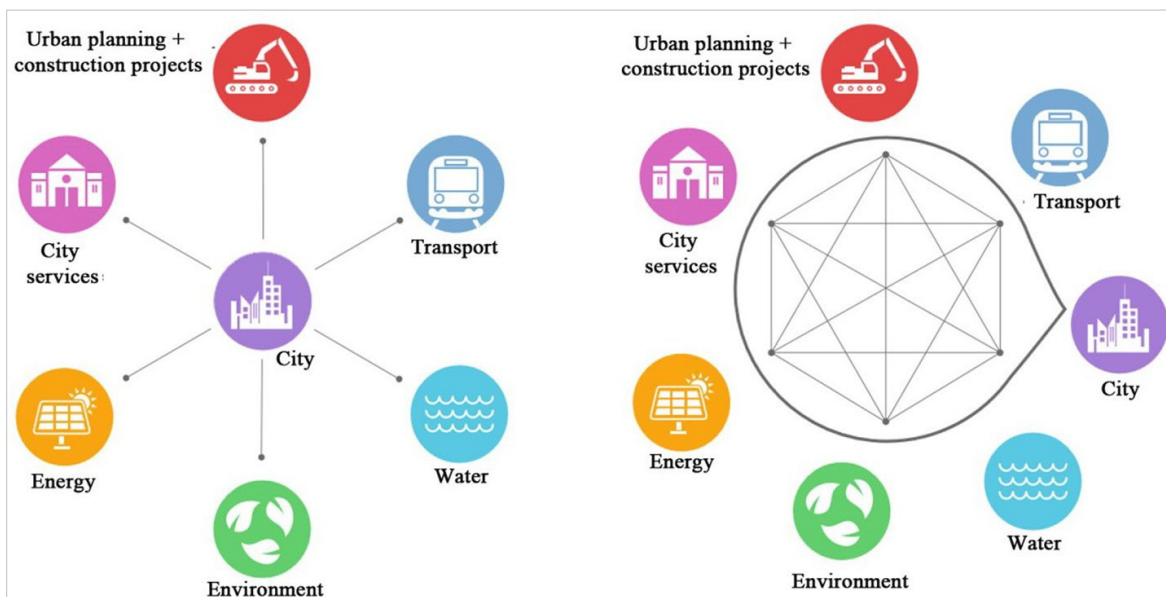


Figure 3.1 Current systems management and proposal for interconnection

The long-term objective of the present study is to develop a decision support system, based on a digital 3D city model. Given the scope of the project, the present paper aims at creating a digital 3D city model that is searchable, high performing and unique in its ability to interconnect with the city's systems to analyze data in real-time to extract relevant information for use in decision-making.

The paper presents a review of the literature, and is laid out as follows: Section 2 covers data management, the interconnection between the territory and infrastructures (combining BIM and GIS city information modeling (CIM)), and the interconnection between government/municipal authorities and the citizen (through the digital and the smart city).

Section 3 presents an analysis of five digital 3D city models, as well as observations and analytics trends for the new model. Section 4 discusses the concepts underlying existing models, explains the benefit brought about by the proposed model and demonstrates its robustness. Section 5 concludes the paper with discussion and implications.

3.3 Key components of a 3D city model design

The digital 3D city model constitutes a large digital ecosystem comprised of multiple linked sources of data. Among the city's systems: the territory and infrastructures as mentioned at the beginning of the introduction. Each of these systems has already been separately considered as a database for managing the city. Processes already exist for modeling and querying the model (for example, BIM for infrastructures and GIS for the territory). To fuel this research and further study the databases that can be combined to build the model's mega database, it was necessary to search for information on the characteristics of the data and to identify (in existing sets) the key elements (BIM and GIS) and emerging elements (blockchain and CIM).

The digital 3D city model is based on digital data. It is used to present analyses and simulations, allowing better decision-making. These involve government/municipal authorities, which make up the third city system. It is in this context that the research focuses on the digital city because it is based on data digitization as per government requirements. Moreover, the digital city is often confused with the smart city, both being technology-based. The smart city takes into account the quality of life of its citizens, as well as sustainable development principles. It is interested in the population, which is the fourth city system. Serious thought should thus be given to gaining a fuller understanding of both the digital city and the smart city concepts, and of what makes a city smart, as well as how technology can aid in city management.

3.3.1 Data management

The digital 3D city model will be realized, developed and queried in real-time based on data. To optimize the search time and ensure high-quality data collection, it is important to identify

data requirements for modeling; consider the structure and media on which data will be stored; obtain proper data sources; and select a tool allowing speedy and precise collection. The amount of data available for the city is huge, and so we must know how to choose the appropriate data and plan how to manage and maintain it on an ongoing basis. Data security is also a critical issue that must be contemplated beforehand.

This section presents basic knowledge about data, namely, data collection tools, data analysis and presentation, storage, the importance of owning data, data security (Blockchain, IOTA project) and the smart contract. Because the 3D city model is based on data, this basic knowledge also underpins the model as well.

3.3.1.1 Data, information and knowledge

It is important to distinguish between the notions of data, information and knowledge. It is not easy to define them precisely (Floridi, 2013). For example, 360° images taken by a camera in a sewer line are data. A curve showing a deformation as it evolves over time is information. The fact that the sewer line deforms due to aging is knowledge. Figure 3.2 shows the path from data to knowledge.

According to Abiteboul (2012), the three notions can be summarized as follows:

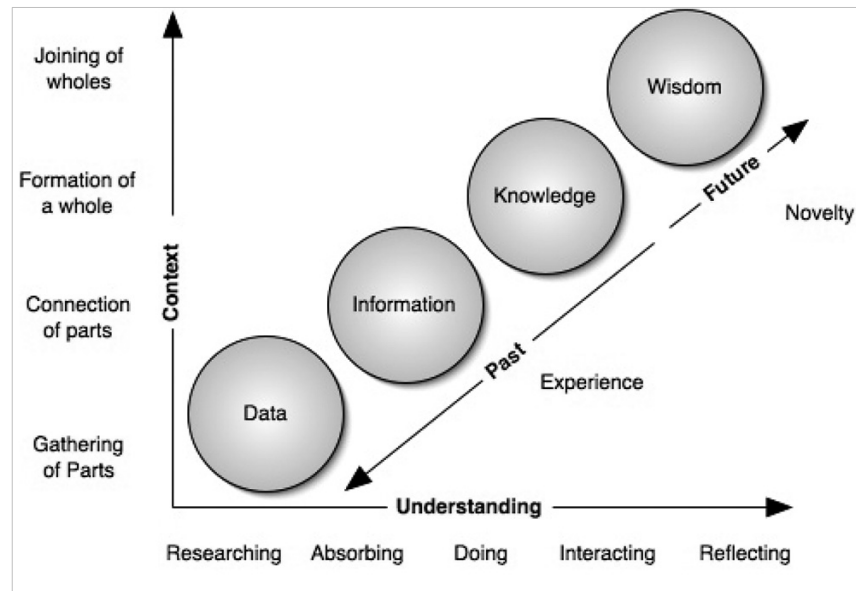


Figure 3.2 From data to knowledge (the DIKW linear chain)

Source: From Clark (2004). Reproduced with the permission of Clark D

Data collected is raw data, and will, therefore, not allow “smart” management of the city if the information is not extracted from it. The digital 3D city model to be developed is a multiple linked sources of data and will perform better if it goes beyond its role of storing and structuring the city’s data if it supports analysis and simulation by users and allows querying to support decision making.

3.3.1.2 Managing data for information dissemination

Information experts and scientists have studied complex computer systems extensively to collect data, extract and analyze information and transmit knowledge.

- **Data characteristics**

Data are derived from multiple sources and form the basis for the management of assets, transport, energy, water, and for calculating the carbon footprint and meeting social and environmental objectives. Huge amounts of data on all of the city’s systems must be considered to arrive at the best decisions. All data comes in a specific format (number, text,

image), and category (vectorial, descriptive); data is also characterized by how it is collected (investigation and assessment methods, measurement strategies, existing data), evaluation parameters (priority, reliability/obsolescence, conversion efforts), costs (updates, outside mandates) and metadata (origin, date, author). All these characteristics together contribute to define the relevance of data, hence the need to identify data requirements for future designs of the 3D city model.

- **Data collection, analysis and presentation tools.**


Several tools allow data to be collected quickly and at high quality: cameras for televised inspection of pipes (360° high- definition camera, sound navigation ranging, etc.); new satellites, which allow the collection of reliable and accurate images (45 cm ground resolution, etc.); navigation and global positioning systems (GPS); virtual reality (VR) or augmented reality headsets allowing project site visits either before or during actual construction, etc. Figure 3.1 presents several data collection tools.

- **Storage.**

Advances in the understanding of the basics of algorithmics and its reasoning mechanics have now enabled the storage of large volumes of data. Furthermore, several storage media, particularly external hard and flash drives, are not only available but are easily acquired and allow storage of large volumes of data. Computer hardware is evolving at breakneck speed: “prices are dropping, access or transfer speeds are increasing, volumes are increasing” (Abiteboul, 2012).

To store data, there must be clarity in terms of its meaning, representation, organization and where is stored. For example, data may be stored in cloud infrastructures or in on-premise databases. Data storage in the future 3D city model to be developed is also something that must be thoroughly examined (Figure 3.3).

Tableau 3.1 A few data collection tools

Name	Characteristics	Photo of tool	Result
Aircraft	Overhead imagery - Ground resolution: \pm 3cm - Clear day cover - High to medium acquisition cost		
Drone	Airborne imagery - Ground resolution: \pm 3cm - Clear day cover - Highly wind-sensitive - Very low acquisition cost		
Total station/Robot	Station measurement - Ground pinpoint accuracy: \pm 3cm - Operable at all times and everywhere - All climatic conditions - Need for processing and layout - Low acquisition cost		
LIDAR scanner	Color HDR imaging/3D point cloud model with polar coordinates - Ground pinpoint accuracy: \pm 3cm - All climatic conditions - Medium to high acquisition cost Point scanning method		
References	(Blake, 2018), (Dionne, 2017), (Dnd, 2017), (Halama, 2017), (Leica Geosystems, 2018a, Reproduced with the permission of ©Leica Geosystems), (Leica Geosystems, 2018b, Reproduced with the permission of ©Leica Geosystems), (McGloin, 2015), (Rumble, 2018).		

3.3.2 Importance of owning data

Data underpins all decisions. Some businesses use their clients' personal data to develop their marketing. According to the Boston Consulting Group (BCG) (2012), the personal data market will be worth e20bn in 2020. However, data management comprises certain limitations (e.g. ownership and sharing of the data), which necessitate certain decisions, and that is why owning data and being able to manage it is so important.

Information can now be obtained by querying database systems, which can be relational systems or Web-based information systems. The question that arises then is "Who holds information?".

In the case of Big Data, it is difficult to compile, store and analyze a large volume of data in a way that allows information to be disseminated accurately. This difficulty has led to fierce competition "between the FANGs in the USA (Facebook, Apple, Netflix, Google), the BAT in China (Baidu, Alibaba, Tencent) and the rich Fortune 1000 multinational companies" (Epstein, 2017).

It is in this framework that data centralization is raising alarms in certain quarters. Abiteboul (2012) questions how much search engines should be trusted in Europe, stating that "they yield considerable power by controlling information." Epstein (2017) directs attention to the FANGs, the BAT and the above-mentioned Fortune 1000 companies. They are the only entities with the means and capacity to obtain, store and analyze more and more data for transmission. Neuer (2018) shares this apprehension: "those who hold data have power." Given this framework, certain other questions must be considered with respect to security (manipulated or stolen data), the possibility of faulty algorithms, the increasing quantities of data, ownership rights and personal rights. These factors are at the root of the ongoing debates on personal data protection, as well as legislative bills being brought in to deal with the issue. The Facebook-Cambridge Analytica scandal comes to mind in this regard, as well as the entry into force of the European Union's General Data Protection Regulation. In some respects, owning and managing data allows control over traces they leave in the digital

environment. Serious thought must be given to securing ownership and management of the future 3D city model data.

3.3.3 Blockchain, IOTA project and smart contract

A few solutions have already been implemented to tackle the problem of data centrality. One example is the blockchain. It first emerged in 2008 with the bitcoin digital currency and remained almost unknown until 2015 (Kinnaird, Geipel, & MBE, 2017). Today, the blockchain concept has been extended to other fields (Blockchain France, 2020). It is a solution aimed at decentralizing and securing data transparently; a “decentralized, distributed and public digital ledger that is used to record transactions across many computers so that the record cannot be altered retroactively without the alteration of all subsequent blocks and the consensus of the network” (retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Blockchain>). The blockchain is uniquely different from other databases in that it involves no “central authority. There is no intermediary”, such as a bank, to transfer money, or a lawyer, to confirm the terms of a contract (Koutsogiannis & Berntsen, 2017). Figure 3.3 illustrates the blockchain principle.



Figure 3.3 Representation of the blockchain principle

Source: From Blockchain France (s-date), reproduced with the permission of Blockchain France

A second example is the IOTA project, which proposes a large-scale interaction between smart devices. Figure 3.4 presents the IOTA tangle and its operation, which is comparable to blockchain systems in terms of decentralization and security.

According to Koutsogiannis and Berntsen (2017), the blockchain allows overall greater transparency and accountability and better project control, while improving workflow and keeping minimizing conflicts and risks. Thanks to the blockchain, the data source is thus known, and the ownership is defined. The blockchain could also enable a faster and more data-driven decision-making process, as is already the case when using construction software. However, 95 per cent of construction industry data are not computerized (Koutsogiannis, 2017). The smart contract example illustrates the blockchain's capacity to "add more transparency to every type of agreement and transaction in a construction project" (Koutsogiannis & Berntsen, 2017). A smart contract is a digital protocol based on a controlled process and on the blockchain to enable open transactions without any intermediaries (e.g. lawyers) involved.

Data structure and information flow in the 3D city model to be developed may be based on the blockchain and/or on the IOTA principles. The process is controlled, the data source is known, and the ownership is properly identified.

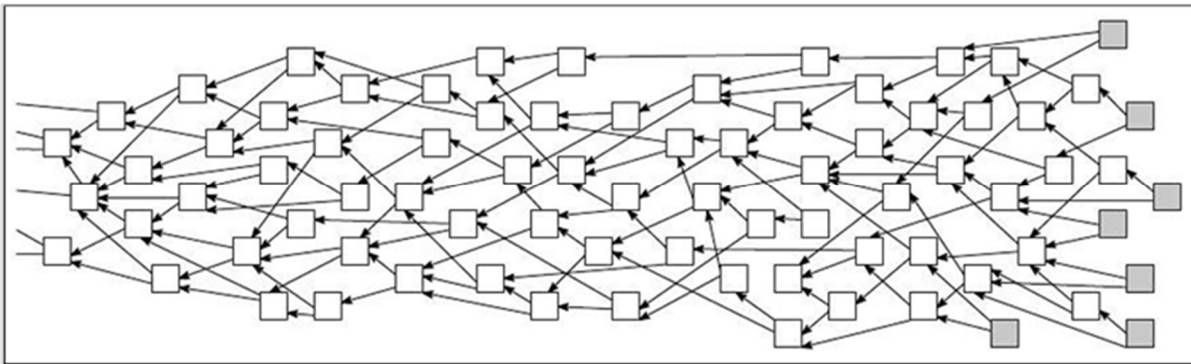


Figure 3.4 Illustration of the IOTA principle



Reproduced from Wikimedia Commons (2017)

3.4 From data digitization to the smart city based on the digital city

3.4.1 Interconnecting the territory to infrastructures (two city systems)

The literature review identified several possible solutions to model the city by interconnecting two of its systems, namely, the territory and infrastructures: BIM/SIG combination, the use of BIM for infrastructures, CIM, as well as BIM and the blockchain.

3.4.1.1 Building information modeling (BIM), Geographic Information System (GIS) and City Information Modeling (CIM)

Horizontal infrastructure management is based on data collected using geomatics, that is, the automatic processing of geographical information. Currently, the digital city model is an urban digital information model based on geospatial infrastructure data obtained through GIS technology.

Management problems related to vertical construction cannot be resolved using two-dimensional data appearing in drawings. That is how the BIM has been adopted in some countries in accordance with government requirements.

A combination of GIS and BIM can resolve management problems for all types of infrastructures (horizontal and vertical). When used for infrastructure management, BIM is called CIM (McGraw-Hill, 2012) or “BIM for civil engineering works.”

Hutsel and Bush (2016) confirm BIM, GIS and CIM are currently being combined ongoing. Their integration and interoperability are enabled by the implementation of standards and best practices. That is how a language that can be included in all contracts to create a geospatial link develops. To manage a large digital ecosystem comprised of multiple linked sources of data, known as the 3D city model, the real-time application of various data sources, as well as the availability of these data for the entire duration of the project, must be guaranteed. Moreover, a geospatial benchmark must be created for the entire geospatial life cycle.

3.4.1.2 Building information modeling for infrastructures

Government/municipal authorities have stringent requirements regarding efficiency standards and deadline observance. It is estimated that by 2025, large-scale digitization of the built-up urban area will produce cost savings ranging from 13 to 21 per cent during the design and construction phases, and from 10 to 17 per cent during the operating phase of the structure (Boston Consulting Group, 2016). Industry 4.0 is the “fourth industrial revolution driven by the integration of digital technologies in the core of industrial processes” (McKinsey Global Industry, 2017).

BIM is an integral part of this revolution. According to Teo Ai Lin (2017), it shortens completion times, improves quality, productivity, performance and competitiveness.

It provides a source of federated and reusable information through 3D modeling. BIM can provide several benefits for construction project management, and thus foster improvements in decision-making. Gould (2010) proposes that BIM should be directed mainly toward management by combining the social and technological aspects of construction projects. It enables real-time testing, analysis and simulation to provide greater energy efficiencies and better cost management, even before construction begins. It also leads to reductions in waste and accommodative developments (Azhar et al., 2008; Bentley, 2018; BIMhub, 2018). It is a process that is operational for the entire life cycle of the asset (Howard & Björk, 2008; Rezgui, Beach, & Rana, 2013).

BIM is mostly used to manage vertical construction. Some authors believe that BIM will find new applications for which it was not originally designed, including in areas such as infrastructural projects (Bradley, Li, Lark, & Dunn, 2016). This has been observed as BIM has begun to be integrated into infrastructure projects (other than buildings), including in the construction of the Doha metro (2022), the Atlantic Bridge in Colon, Panama (2018) and the Crossrail regional express railway (RER) in the UK (August 2018).

BIM can bring provide benefits to the different city systems, including construction project and asset management. We now examine a few applications.

- **Roadway management City traffic**

Roadway management City traffic can be managed using an urban traffic information model (BIM, jointly with GIS) to help manage traffic. Having a 3D model of a road presents several advantages, including, for example, simulation of drainage at the design stage. This model also helps determine if speed limits should be adjusted to allow smooth traffic flow and if congestion levels can be monitored and analyzed. In addition, through warning signals, road users can be alerted of dangers on the road and traffic jams.

Highways England adopted the modeling-based Smart Motorways program not only to solve the congestion problem but also to improve safety (SmartMarket Report, 2017). This program aims at facilitating asset data management. Designers use virtual reality VR to keep contractors constantly informed and even to steer machines on building sites. They also anticipate using robotics in digging trenches.

- **Water management Cities**

Water management Cities contain water bodies (rivers, seas, etc.), and the urban water cycle is becoming increasingly vulnerable to climate change. As well, they have wastewater management and potable water supply systems.

The term wastewater pertains to sanitation sewage from households as well as industrial and institutional waste and surface runoff in urban areas. Water is indispensable for life, and its pollution has enormous consequences on citizen health. Runoff regimes can reach or even exceed 100 times the dry regime, and the surplus from this mixture from is discharged untreated into the receiving environment (stream, river, lake, sea, etc.). It is thus crucial to be able to use modeling in designing and assessing drainage infrastructure behavior, both in new developments and in the rehabilitation of existing urban drainage infrastructures.

3.4.1.3 Building information modeling and blockchain

The use of the BIM models means that data is shared between several stakeholders (architects, engineers, etc.) on the cloud through a Common Data Environment (CDE). The model is thus vulnerable to piracy and manipulation of data, which are centralized.

According to the Arup Report (2017), the solution is the use of the blockchain during the design and construction phases. The blockchain records every action in the model and does not allow any changes or deletions, which increases trust among stakeholders. With this data transparency established, each stakeholder can demonstrate their intellectual honesty, whereas digital components can be shared without changes being permitted; an example is the case of families in Revit. After the project is delivered, the blockchain offers the possibility of connecting the digital to the physical. Adding a chip to any device connected to the internet would enable the transmission of real data, thus enabling monitoring throughout the entire project life cycle. The chip would also help identify all the characteristics of the device, including the location of materials to be recycled (circular economy).

3.4.1.4 Building information modeling adoption policy and competitiveness

With expected future competition in the global construction market, countries in which BIM has not yet been adopted will risk losing out on market opportunities offered by BIM in major construction contracts, both domestically and internationally. The desire to push innovation and lead the industry is the driving force behind the BIM policies of the UK and Singapore. One of the goals of the global construction strategy in the UK is to ensure that its construction sector is competitive, efficient, productive and capable of exporting design and engineering services to other parts of the world. BIM is a part and parcel of the required skills (Eadie, Odeyinka, Browne, McKeown, & Yohanis, 2014).

Singapore, one of the global pioneers in BIM, has often imported design and construction services to meet its growing demand and benefit from the most effective methods and tools available. According to Teo Ai Lin (2017), economic growth is Singapore's strategic priority. Its BIM mandate and road map aim to reverse the importation trend and allow

Singapore-based firms to become competitive against their international counterparts, which should support job creation and income for the local industry (Bosquet, 2017).

It is, therefore, crucial that government/municipal authorities require the adoption of BIM within their respective territories. The future searchable 3D city model will thus leverage the strengths of existing BIM infrastructure models. BIM/GIS interoperability will enable managing a single data source, i.e. the 3D city model.

3.4.2 Interconnecting government/municipal authorities with citizens (two city systems)

The end-goal of the present research is to improve managers' effectiveness, to enable them to make better-informed decisions for infrastructure sustainable development and to provide the best possible services to citizens both today and in the future. The desired outcome is a healthy, sustainable and resilient city through the use of technology. This vision overlaps with a combination of two visions, namely, that of the digital city and that of the smart city. Will the searchable 3D city model perform better and be developed more easily because the city will be digital and/or smart? It is thus crucial to gain a deep understanding of these two existing concepts to be able to propose better solutions for the future.

Authors differ not only in how they call the smart city (e.g. cybercity, digital city, green city, etc.) but also in how they conceptualize it, depending on the context. There is added confusion between a digital city and a smart city. This section defines the digital city and the smart city and lays out their differences and similarities; it also highlights elements that interconnect some city systems within the two concepts.

3.4.2.1 Digital city

This paper proposes three definitions of the digital city, and although the three are formulated differently, they are identical in meaning. To Qi and Shaofu (2001), the digital city is:

[.. .] an adaptable system based on a computer network and urban information resources, all constituting a virtual digital space for the city. It creates an information service marketplace and an information resource deployment center.

Schiewe et al. (2008) and Dykes (2010) define the digital city as a functional approach consisting of four actions:

- supporting urban data in digital format;
- providing a communication infrastructure (physical or virtual);
- analyzing and processing data to obtain relevant information; and
- using a virtual environment for decision-making planning and analysis.

The most popular definition is the one proposed by Ishida, in his study entitled *Kyoto Digital City*, which targets CO₂ emissions reduction. The author defines the digital city as “an arena in which people can interact and share knowledge, experiences, and mutual interests” (Sorrentino & Simonetta, 2013).

These definitions include several elements and subjects of the present research. Decision making in the city, which is based on data digitization and analysis, is included in the definitions. The limitation of CO₂ emissions is a component of the sustainable development research vision. Ishida explains that the digital city is a virtual collaborative space between people (Sorrentino & Simonetta, 2013). This definition fits right in with the 3D model that this research wishes to develop.

3.4.2.2 Smart city

Several definitions have been proposed for the smart city, but none is universally recognized (Cocchia, 2013). These definitions are not mutually contradictory, and all have common characteristics (Dameri, 2013). To enable a comprehensive and complete understanding of the term, this paper proposes three definitions.

Northstream (2010) presents the smart city as one in which public services connect “seamlessly” using ubiquitous technologies, to significantly enhance urban life quality. To

Hall (2000), a smart city is “a city that monitors and integrates the conditions of all of its critical infrastructures, including roads, bridges, tunnels, railways, subways, airports, seaports, communications, water, power, and buildings; optimizes its resources; plans its preventive maintenance operations, and monitors security components, while maximizing services to its citizens.” SETIS (Strategic Energy Technologies Information System) (2012) considers a smart city as one that “can combine technologies as diverse as water recycling, advanced power grids and mobile communications to reduce the environmental impact and offer a better quality of life to its citizens”.

The first point that pops out in these definitions is that the smart city is interested in the quality of life of its citizens. This subject is not covered in the other processes or concepts presented in this paper. Resource optimization and the principle of sustainable development are also included. Technology use in the different management types, as is required in the present research, is encouraged.

3.4.2.3 Differences and similarities between the digital city and the smart city

According to Cocchia (2013), the main differences between the digital city and the smart city lie in their contents, nature and relations. The digital city is an emerging “free” trend arising from the use of digital services provided by the government, whereas the smart city is a policy trend aimed at improving the quality of the urban environment. In other words, the digital and smart cities differ in both their objectives and strategies, as well as in their implementations. The definition of the digital city is based on the idea of collecting data using information and communication technologies (ICTs). Citizens play a less proactive role and the idea of improving their quality of life is not explicit (Cocchia, 2013). Conversely, smart cities are assessed through physical indicators such as CO₂ and greenhouse gas emissions, waste tonnage and the number of megawatts of energy from renewable sources (Al-Hader, & Rodzi, 2009). At its core, therefore, the smart city consists of the sustainable development strategy adopted and of the use of its own natural resources to improve the present and future quality of life of citizens.

Despite these differences, the concept of the digital city overlaps with that of the smart city (Yuan et al., 2012; Lombardi et al., 2012), as both use technology, more specifically, ICTs, to improve the city's economic development. For example, for IBM, the city is run based on three systems:

- (1) service planning and management.
- (2) infrastructures services; and
- (3) human services.

Each of these constitutes a separate system since the city is a system of systems (Söderström et al., 2014). It is against this backdrop that IBM started supplying governments with smart communications, energy and public service, health care, insurance, retail, transport and other solutions (Cocchia, 2013). The smart city designed by IBM is, therefore, also digital.

The objectives of the smart city overlap with those of the present research, with the interconnection between government/municipal authorities, citizens and infrastructures is strongly represented. The vision for the present research is identical to that of a smart city. The 3D model to be developed for the city is indeed the 3D model of a smart city.

3.5 Creation of a new 3D city model

The last section covers the key elements of the design of the 3D city model, i.e. the different existing processes and solutions. Now, this paper will study 3D models of existing cities and propose a new model based on a review of the literature.

Data visualization and storage are characteristics of information-rich 3D city models that can be widely implemented in urban planning, decision-making and urban space management (Koeninger & Bartel, 1998; Lee & Kwan, 2005; Ross et al., 2009; Qing et al., 2009). An ever-growing number of cities are being modeled in 3D (Mao et al., 2014). Several cities, Abu Dhabi, for example, have used 3D models and several companies (for example, Google) have also integrated 3D city models in their services. The models are designed in many different ways and used to achieve different objectives, including urban visualization and planning, as well as noise management, water management, etc.

3.5.1 Description of five 3D city models

Five 3D city models were selected for analysis. These models were chosen based on various criteria, including different countries and dates, different owners and objectives underlying their creation and different techniques and technologies used.

3.5.1.1 3D model of the city of Hong Kong

The city of Hong Kong faces major road traffic problems. Its vehicle density for 2009 stood at approximately 283/km (Information Services Department, 2009). Home to many 40-60 floor residential buildings, it is the city with the highest population density in the world. Building facades are exposed to noise, and to attenuate this noise, the city used GIS to design a noise contour map for gathering noise- related information and quantifying the noise scale, as well as assessing noise attenuation measures. The information presented in a 2D map was limited as it did not show the vertical variation of noise levels, which is why the city then proceeded to adopt an interactive 3D noise visualization model. The model was able to send noise results to users (professionals and the public) to allow a fuller understanding and improve the situation.

3.5.1.2 3D model of 11 cities in France

A project to acquire a realistic digital 3D model was kicked off in 2004 and lasted more than eight years. 3D models are loaded into a small radius, and to ensure a smooth operation, buildings far from the camera are shielded. This model is different from Google Earth models in its greater precision. The level of detail of the model is available as LOD1 and LOD2. According to the Yellow Pages (2007), the model has been used in a variety of simulations. Following this experiment, the city decided to launch another more precise 3D model.

3.5.1.3 3D model of Chennai in India

In 2008, the city of Chennai was developing at a pace that far exceeded any temporal-spatial planning it had undertaken. Urban planners were under constant pressure. To meet the challenges they were facing, they used different modeling tools, including computer-assisted design and SIG. They created a model to help improve their decision-making. The model was generated from ArcMap to ArcScene, both 3D smart city model ESRI tools. 3D modeling aimed to measure the impact of urbanization on existing infrastructures, specifically the capacity of sewer systems to handle greater wastewater volumes, which should allow better planning.

This experiment concluded that “analyses must be holistic” and all physical and social infrastructure parameters must be integrated alongside zoning regulations (Ahmed & Sekar, 2015).

3.5.1.4 3D model of London in England

A 3D model of a 25 km² surface area of Central London was realized. The base 3D model was captured manually using stereophotogrammetry. The source photograph and associated data were obtained from the last high definition 12.5 GSD images collected in August 2016. The modeling of vertical infrastructures was accurate to 90 cm in all axes. The terrain in the base 3D model was not flat. It was captured manually using the same photogrammetry method as in the building and was accurate to 20 cm in all axes at the edge. The model was easy to use and update. The files were structured as 500 X 500 m (0.25 km²) OS mosaics, which made it easy to modify or replace them by zone without having to modify the entire model. The rationale for 3 D modeling was commercial. AccuCities, a private company, was the supplier of the data, which it models and sells to clients, who include planners, developers and architects.

3.5.1.5 3D model of Abu Dhabi in UAE

In 2018, the Indian company, Rolta, based in Mumbai, and which has worked in Dubai and Oman, won the contract to develop the 3D model of the city of Abu Dhabi. It was a high-precision model, with photorealistic building facades. Unfortunately, the present research cannot provide additional details on the techniques and technologies used. Modeling was aimed mainly at sharing the internal database with other relevant government/municipal bodies. The model allowed the management of services and assisted in rapid urban planning. It facilitated emergency responses and improved public security.

Table 3.2 summarizes the different approaches used to design the 3D models of the chosen cities. Only available data are specified in detail.

3.5.2 Analyses, observations and proposals

Several observations could be drawn from the analysis of five 3D city models. 3D city modeling is not a new idea. In 2002, Hong Kong used it to help its managers in their decision-making. During this period, and in fact, even before then, managers had understood the limitations of managing a system based on a 2D database. They had also fully understood that 3D modeling could be used for much more than just visualization.

The idea of modeling the city of London by zone really is of immense help when it comes to allowing support for a greater data volume. It facilitates modifying and updating the model. Nevertheless, this idea must be extended if the model is used to analyze and simulate models outside the zone limits. AccuCities sells the city of London 3D model, and to meet their specific needs, clients can add to and improve on it. The ability to adapt the model to meet specific needs is also a very good idea. However, the notion of collecting data, and then modeling and selling the model, leads to questions regarding data ownership, which we covered earlier in section 3.3.2. Some private companies appropriate the city's data, which they then go on to sell back to the city itself.

Tableau 3.2 Different approaches to designing 3D city models

Model	3D model of Hong Kong in China	3D model of 11 cities in France	3D model of Chennai in India	3D model of London in England	3D model of Abu Dhabi in UAE
Modeled area Start of modeling	2,700 km ² 2002	11 cities 2004	60 m ² 2008	25 km ² 2016	Over 5,866 km ² 2018 (ongoing)
Designed by	City of Hong Kong (Public)	Yellow Pages (Private)	Chennai Metropolitan Development Authority (Public)	AccuCities (Private)	City of Abu Dhabi (Public)
Target objectives / strategies	Reduce City of Hong Kong road traffic noise. Roads are situated close to skyscrapers and this affects the vertical variation in noise levels. This makes existing 2D noise maps imprecise	- Visualize. - Offer a 3D volumetric representation and view of buildings and vegetation	- Visualize and improve urban planning - Collect all necessary data for decision-making: for volumetric and other environmental analyses. For example, the model has been used to verify whether the densification of the urban center matches the existing infrastructure capacity or if the latter has to be developed With the help of field verifications, extrusion to ArcScene of a map redrawn on ArcGIS Modeling carried out from 2D basic creation and Google imaging used to determine the number of floors Addition of all spatial and non-spatial data as attributes	Create and sell a model to paying clients, including planners, developers and architects. AccuCities develops applications for its clients, who then develop others (e.g. GVA)	Manage services and enable rapid urban city development Facilitate emergency responses and improve public security Share the internal database with the relevant government/municipal bodies
Technologies used	Integration of acoustic modeling, GIS and other tools to obtain a representation of the real acoustic environment 2D noise mapping and 3D presentation tools	CityGML and standard and low-resolution photographs. Facade handling through texture mapping of low-resolution photographs Representations comparable to those of Google Earth/Google Maps		Solid AutoCad . DWG, SketchUp . SKP and .FBX to facilitate editing. Manual capture from 2016 aerial survey. 90 cm precision 3D printing-ready Unreal Engine Version 4 included	Photo-realistic processing of external building surfaces before proceeding to internal building surfaces Several landmarks modeled at higher precision
References	Law, Lee, Lui, Yeung, and Lam, (2011) Yellow Pages, (2007)	Ahmed and Sekar, (2015)	Zaman, (2018) Abu Dhabi City Municipality, (2018)	AccuCities, (2018) GVA, (2018)	

There are several 3D models of cities available, but in each case, modeling is done differently, depending on the strategy and objectives of the model owner. Sometimes, private companies wishing to sell the model to planners, developers, etc. (models of London and French cities), initiate the modeling for commercial reasons. Sometimes, it is the local government that initiates the model, which it considers a decision-making tool. It is, therefore, clear that no global vision exists, which makes it difficult to perceive the full potential of 3D city models.

While a model may carry out analyses with a specific objective, none of the 3D city models identified during the research was searchable over several sectors. Existing models do not produce a dashboard to help managers steer the city based on real-time performance indicators and a global vision.

The structure of the 3D city model and technical choices depend on limited design objectives, and this structure then limits the model's potential. Because the techniques used are limited to visualization and a few analyses, these models lack the capacity to interconnect all urban systems and perform several analyses (e.g. carbon emission levels, disaster management, etc.).

3.5.3 Towards a 3D smart city model

3D modeling, analysis and simulation tools have become more sophisticated, and the latest models are extremely precise. This proves section 4.2.1.2, which explains the availability of tools used for large-scale modeling.

The solution proposed in the present study to tackle urban management problems and to predict the impact of decisions before they are made is a new type of 3D city model. It is a parametric digital 3D model (or virtual 3D model) of all of the city's infrastructures. It provides virtual, augmented, and 83nfor reality visualization and presentation. It also helps ensure that standards are observed and provides coordination and simulation as well as management of deadlines and costs for the entire life cycle of assets.

3.5.3.1 Benefits and peculiarities of the proposed model

The proposed model aims to assist in the integrated management of all city systems. It covers all the functions of the models cited in section 4.3.1.1 (visualization, improvement of urban planning, noise analysis, etc.), and allows the following objectives to be met: asset management; transport management; construction project management; quality and environmental management; water management; waste management and recycling, etc.

- **Model that interconnects all systems.** No system operates in isolation. The proposed model requires that systems be interconnected. This paper presents a review of the literature on different existing solutions.

City management involves the management of infrastructures, that is, the management of all data used in decision-making, including management of civil engineering and environmental data, topographical data, geotechnical and geological data, asset management, management of current or planned work, space management, risk management, etc. Consequently, the 3D city model must be analyzed holistically and integrate all physical systems, social parameters, regulations, etc.

- **High analytical capacity model.** The robustness of the proposed 3D model lies in its capacity to analyze different trends considered in decision-making. Table 3.3 summarizes anticipated trends that will need to be developed depending on the particular context.

3.5.3.2 Attenuation factors of the model

With modern technology, we can predict that the 3D city model design proposed in the present study will be successful. Today, both the internet and the Internet of Things are accessible to all. Artificial intelligence is set to conquer the whole planet. Smart systems are more interconnected than ever before, making it easy to create a smart city. An unlimited amount of data can easily be stored in a Big Data warehouse or the cloud. Tools, software and platforms are available and have become competitive. Geomatics has become indispensable in several cities, and its new tools are more powerful.

Tableau 3.3 Analysis trends of the proposed model

Management type	Analytics trends (a few examples)
Data management	<ul style="list-style-type: none"> - Collect, store, analyze and disseminate data - Control data efficiency and effectiveness
Asset management	<ul style="list-style-type: none"> - Analyze the required service level (e.g. street lighting)
Managing spaces and new construction projects	<ul style="list-style-type: none"> - Integrate and verify compliance with town planning regulations (e.g. zoning) - Analyze potential for solar - Analyze noise level - Analyze the energy efficiency of built structures
Urban traffic management	<ul style="list-style-type: none"> - Optimize the movement of persons and goods from one place to another - Analyze safety and accessibility - Simulate the environmental impact of transportation modes - Analyze the maintenance of urban traffic and road congestion - Manage airport solutions - Assist in urban road design and management
Water management	<ul style="list-style-type: none"> - Monitor rainwater runoff volume and time pattern - Detect and analyze the probability and frequency of backups and floods - Anticipate potential water pollution, and therefore, protect water body quality - Study the optimal distribution of water and its long-term availability - Evaluate the functionality of drains
Management of environment quality	Energy: <ul style="list-style-type: none"> - Study the possibility of optimizing energy consumption - Analyze the best way to distribute gas - Analyze urban heating/cooling
	Carbon: <ul style="list-style-type: none"> - Estimate greenhouse gas emission volumes
	Pollution: <ul style="list-style-type: none"> - Process environmental parameters when designing construction projects - Assist in waste management and recycling: Circular economy
	Comfort: <ul style="list-style-type: none"> - Manage air temperature and humidity to ensure appropriate indoor climate, etc.
Management of risks and public security	<ul style="list-style-type: none"> - Provide smart public services (for example, real-time video monitoring)

3.6 Discussion and implications

Several problems are encountered when managing cities and are mainly attributable to a single source, namely, data exchange and management, which underlie all decisions taken. Each management type resolves a part of the city's problems but does not take into account the interconnection between systems. The solution proposed in the present research consists of integrated management of all city systems with a view to ensuring sustainable development and resilience. It is in this context that this research proposes a new digital parametric 3D model of all the city's infrastructures. Its first objective is to connect all of the city's systems (Figure 4.1).

In Section 4.2, the literature review demonstrates the importance of data and of owning and managing them. The model will perform better because it goes beyond its role of merely storing and structuring the city's data, it succeeds in analyzing and simulating data and extracts information needed for decision-making.

This literature review identifies existing trends, concepts and processes that can be used by managers to optimize their decision processes (BIM, CIM, GIS, Digital city, Smart city, Blockchain). The new model can thus harness the potential provided by all these success factors: it must employ data security and transparency concepts such as the IOTA project principle, and the blockchain is also a must. The model combines BIM, GIS and CIM. BIM is used not only for buildings but also for urban infrastructures (e.g. bridges, roads, etc.). The study of the concepts of the digital city and the smart city concluded that the vision for the present research is identical to that of a smart city. The objectives of the smart city overlap with those of the present research. The 3D model to be developed for the city is indeed the 3D model of a smart city.

There are several 3D city models in existence, all of different types. The literature review in Section 3 analyzes five 3D city models. The design of these models (structure, techniques used, etc.) depends on the model owner, their strategy, and objectives. In other words, the

strategy underpinning the design lacks an overall vision of the city's problems, and thus prevents it from exploiting the 3D city model to its full potential. None of the digital 3D city models identified in this research can be queried for several sectors. The existing models are not based on indicators that come from several management areas because they are not based on a global vision of integrated management.

This section, therefore, proposes the analytics trends for the new searchable 3D city model. The model has a high analytical capacity and is not only limited to visualization, town planning improvement or noise analysis but also includes all parameters that allow the management of assets, urban mobility and transport, construction projects, environmental quality, water, etc. It is capable of predicting the impact of decisions taken by the city's managers.

The new model enables data fluidity, collects data in real-time and analyzes and simulates them while ensuring coordination between different city system datasets. A dashboard that synthesizes and presents information is integrated into the model. The shape of the dashboard is yet to be developed, but the option chosen here is a humanoid form that discusses and debates city management strategies and presents results.

This model design requires the collaboration of several stakeholders: the government, industry, professional associations, researchers, etc. Success in designing such a 3D model cannot come without a public mandate to accompany and support the city's digital transition. The proposed model is in its conceptual phase and must factor in specific contexts during its implementation. The paper goes on to reflect at length on the techniques and technologies to be used as well as the level of development and detail needed and allows a reflection on the multi-platform workflow.

Admittedly, the model may have some shortcomings, such as risks related to information security, its inability to handle emergencies or the risk of political non-acceptance, among

others. However, today's shortcomings will, in fact, be good points to ponder during the design phase.

All that is now left is to trust human intelligence and use the proposed project to ensure performance, value and efficiency.

CHAPITRE 4

DIGITAL TRANSFORMATION WITHIN MUNICIPALITIES FOR THE PLANNING, DELIVERY, USE AND MANAGEMENT OF URBAN INFRASTRUCTURE ASSETS – PART 1: DEVELOPMENT AND PRELIMINARY VALIDATION OF A THEORETICAL FRAMEWORK

Nawel Lafioune¹, Érik Andrew Poirier¹ and Michèle St-Jacques¹

¹Department of Construction Engineering, École de Technologie Supérieure,
1100 Notre-Dame West, Montreal, Quebec, (H3C 1K3) Canada

This chapter is submitted as an article for publication in « Long Range Planning »,
an applied Journal of Technology, Environment and focused
and their larger implications for government.

Submitted on December 12, 2022. Submission Confirmation: SFTR-D-22-00154

4.1 Abstract

Municipalities face many challenges in maximizing the value they provide their citizens as well as being on the front lines of resiliency and sustainability concerns. The use of technology, digital processes and initiatives helps cities to improve planning, optimize works and provide better services to citizens. However, this approach implies an eventual digital transformation (DT) of the municipal organization and its asset management activities. Municipalities are struggling to keep pace with the transformative changes needed to align their operations with this new evolving digital age.

This paper presents the results of the first part of a longitudinal research project aimed at framing digital transformation within municipalities to improve urban infrastructure lifecycles. It provides the results from a systematic review of the literature on concepts of digital transformation and its implications for municipalities, barriers and challenges to digital transformation, as well existing digital transformation frameworks for municipalities and their built assets. This literature review leads to the development of a digital transformation framework to help cities conduct a planned and federated DT beforehand.

The theoretical framework was validated through two case studies on two large Canadian municipalities. The results of these studies point to the need for a dedicated digital

transformation framework for municipalities because of their particular context and their role and proximity to citizens. The theoretical framework develops 22 elements which are divided among 6 categories. Through its application, the framework helps to identify and target the predominant issues hindering the digital transformation of municipalities, specifically “legacy practices” and “data management”. The framework is original in that it specifically aligns assets management with digital transformation.

4.2 Introduction

Municipalities face multiple challenges in maximizing the value they provide to and generates for their citizens. Moreover, they must contend with growing resilience and sustainability concerns. Recognizing these challenges, the United Nations (UN) has identified 17 sustainable development goals (SDGs) including, Industry, innovation and infrastructures (no. 9), Sustainable cities and communities (no. 11) and Sustainable consumption and production (no. 12). Municipalities not only have to plan, deliver and maintain critical assets, they are also responsible for the regulation and approval of all construction within its boundaries. Moreover, studies by the G20 Global Infrastructure Hub, the UN, and McKinsey & Company confirm that the infrastructure financing gap is significant, amounting to trillions of dollars per year. The UN’s 2020 report on financing sustainable development suggests accelerating long-term public investment in resilient infrastructure that contributes to sustainable development. It also provides policy options for harnessing the potential of digital technologies. Yet, achieving this requires operating significant, long-lasting change.

The digital transformation of the municipalities’ planning, delivery, management practices as well as the optimization of its services to its citizens can help them achieve these goals (Shkabatur, J., 2010; Beaudet, G., & Shearmur, R., 2019; Pereira, G. V. & al, 2020). Indeed, if well executed, through the implementation of digital tools and technologies supported through a reconfiguration of practices, digital transformation can potentially help more effective decision making through structured and accessible information. However, to

achieve this, digital transformation must be well planned, executed, and managed, which is no91nforl feat given that municipalities not only struggle to keep pace with the transformative changes needed to align their old practices, operations and emergency response with this new evolving digital age, they also lack the necessary resources to do so (Mcgill, É. D. U., 2019; Divay, G., 2020).

Digital transformation (DT) in governmental and municipal settings consists in a fundamental change in business processes with the objective of creating more value for the community. DT is driven by the introduction and accessibility of new ideas and trends driven by novel information and communication technologies. As these are constantly evolving, Digital transformation must also evolve accordingly. More seminal concepts and paradigms, such as the “cyber city” (Scime, 1994), are being replaced by concepts such as “open government” (Mergel, 2015) or “governance in the digital age” (Roberge et al., 2019), “the digital city and the smart city” (Lafioune & St-Jacques, 2020), and the “digital twin” of a city (Shahat et al., 2021).

An increasing number of municipal authorities have started experimenting with technologies, such as, applications that rely on ICTs (Guenduez et al., 2018), but Digital transformation is essentially a strategic relocation of organizational activity (Bloomberg, 2018) and consists of more than technologies alone. Therefore, there is a need to frame Digital transformation and what it means for municipalities given their strategic importance. Moreover, current governance considerations do not take into account fundamental values specific to public organizations, such as public value (Broucker et al., 2018), nor the federation of digital transformation. An important number of municipalities struggle when undertaking a Digital transformation (Ringenson et al., 2018), even though DT is progressing in many fields, including public infrastructure (Apréez & Lavrijssen, 2019). Thus, municipalities also need help to better frame DT, its implications and address its challenges and barriers to ensure its success. While the question of DT has been addressed across many domains, there is a lack of such investigation at the municipal level, especially when it comes to assets management.

This paper presents a theoretical framework that focuses on the identification of barriers and challenges constraining Digital transformation in the municipal context, especially with regards to urban infrastructure asset (UIA) lifecycle activities for existing and yet-to-be-constructed built assets, such as buildings, roads, railways, sewer and water systems, etc. The activities of urban infrastructure asset management include project portfolio planning and management, construction project management, operation, maintenance, and use of urban built assets. Although some urban infrastructure asset management activities are being reorganized at the municipal level through the implementation of a variety of technologies (Proulx, 2005), a long-term vision and holistic understanding of needs, barriers and challenges is lacking. In addition, municipalities seem to be undertaking Digital transformation in a haphazard and ad hoc fashion. Thus, there is indeed a paucity of theoretical underpinnings to support digital transformation for integrated urban infrastructure asset management within municipalities.

The research presented in this paper is part of a longitudinal study on the digital transformation to support integrated urban infrastructure asset planning, delivery, management and use within municipalities. This paper focuses on the development and validation of a preliminary theoretical framework that aims to articulate the barriers and challenges that prevent successful Digital transformation from supporting lifecycle activities relating to urban infrastructure assets in municipalities.

The objectives of the research presented in this paper are: (1) to identify and categorize the barriers and challenges to Digital transformation for municipalities pertaining to the urban infrastructure asset domain, (2) to articulate these barriers and challenges within a framework, and (3) to test and validate this framework as an input in the subsequent phases of the longitudinal research project.

To achieve this, a systematic literature review was performed and a series of workshops were held with two large Canadian municipalities. The research presented in this paper thereby offers an investigation into the phenomenon of Digital transformation in the context of the public sector at the municipal level. The research discusses how a municipality can keep pace

with technological developments while anchoring its day-to-day urban infrastructure asset lifecycle practices. Addressing the challenges and barriers laid out in the framework, namely by increasing a municipality's digital maturity, can help to transform the decision-making process and, consequently, the quality and promptness of service delivery to citizens. This research incites reflection as to how cities resolve to undertake Digital transformation but without prior planning or organizational frameworks. It demonstrates how a city's operational needs create pressure on its data management to initiate DT and how ad-hoc DT initiatives reinforces silos between departments. Therefore, the framework provided by this research will seek to mitigate and/or eliminate the issues that hinder successful NL. This paper contributes to the literature on DT in municipalities to support the planning, delivery, management and use of municipal built assets or urban infrastructure assets. The proposed framework articulates challenges that municipalities face in their Digital transformation. It also provides a guide and analytical tool for the Digital transformation of public organizations and demonstrates its potential application in practice.

The article begins with a review of the literature on the concepts of DT and its impact within the municipal domain, the barriers and challenges of Digital transformation, existing Digital transformation frameworks, and how public organizations are adapting to developments in the field of digitalization, as well as the guidelines they use for DT. The literature review supports the proposal of a theoretical framework that articulates barriers and challenges to Digital transformation in the municipal built asset domain. The application and validation of the framework is then presented, including the detailed methodology, the method of analysis and the results, and the findings and conclusions of the analyses. Third, the implications of the results for research and practice are discussed and the limitations of the study are highlighted. A series of recommendations and future areas of study conclude the paper.

4.3 Background and development of the theoretical framework

Digital transformation (DT) is a widely studied and published topic. Indeed, approaches and strategies to digitally transform the municipal sector are continuously being introduced, such as e-government, digital city, and smart city. From an organizational perspective, past studies have explored DT efforts by governments at all levels (Weerakkody & Dhillon, 2008; Weerakkody et al., 2012). These studies have found that process, people, structure, culture and information systems are the typical components of organizational DT within government (Nograšek & Vintar, 2014; Pedersen, 2018). However, many studies have focussed on only one or two components and have tended to neglect the relationships between them, while historically, these components have been addressed in a systemic fashion in other domains (Bostrom & Heinen, 1977; Nograšek & Vintar, 2014; Al-Emadi & Anouze, 2018). While the various components which frame DT have been identified, a generalized lack of empirical evidence on the strategies and approaches enabling DT in a systemic and structured way is lacking (Coursey & Norris, 2008).

However, past literature has explored and characterized barriers and issues to DT in depth (Tangi et al., 2020). Table 4.1 presents and summarizes the categories of each of the nine existing frameworks, adapted to their contexts and locations of study.

Tableau 4.1 Different categorizations of digital transformation barriers found in the literature

Area of study	Categories	Context	Reference
Electronic government (<i>e-government</i> or <i>T-government</i>)	Organizational challenges, process change challenges, cultural and social challenges, and information integration system and technology challenges	British authorities	Weerakkody & Dhillon (2008)
E-government	Governance, organizational and managerial level, and technical level	Three case studies including one city in the Netherlands.	Van et al. (2011)
Smart city	Technology, management and organization, policy context and governance	Philadelphia and Seattle in the United States, Quebec City in Canada and Mexico City in Mexico	Alawadhi et al. (2012)
Digital transformation projects in municipalities	Culture, processes, change management, digital skills, demographic and financial challenges.	Municipalities in Norway	Rund (2017)
Digitization of the administration	Internal (strategic, policy and resources) and external	Small and medium-sized towns in a federal system in Germany	Jakob & Krcmar (2018)
Transformational government (t-government)	Context of transformation pressure, public sector requirements, governance complexity, organizational integration, technical integration, organization, structure, organizational culture, processes, people, IT, understanding citizens, capabilities and resources.	Public sector organizations in Denmark	Pedersen (2018)
ICT in public administrations of public bodies	Structural barriers, cultural barriers, internal and external drivers	Administrations of Dutch public bodies.	Tangi et al. (2020)
Infrastructure in public organizations	Individual (cultural norms, attitude beliefs, managerial vision); organizational change (human resources, innovation culture); and institutional change (political science, public administration)	23 Swiss sub-states	Manny et al. (2021)
Adaptive governance for digital transformation	Organizational barriers; structural barriers, cultural barriers, employee perspective barriers; economic barriers; technological barriers	City in Sweden	Aidarpää & Sjöberg (2021)

Regarding barriers and challenges in the context of e-government in the United Kingdom, Weerakkody & Dhillon (2008) identify and categorize these along organizational, process change, cultural and social, as well as system and information integration technology domains. The authors also examined the challenges that needed to be overcome to successfully implement transformational change in local government. Van et al. (2011) posit that barriers occur simultaneously at the governance, organizational, managerial, and technical levels. These barriers focus on the transformation at the e-government stage and are subsequently used to investigate three case studies, one of which, a city in the Netherlands that wanted to become a forerunner in the field of e-government. Moreover, Pedersen (2018) categorizes and groups the factors that impact transformation as context of transformation, public sector requirements, governance complexity, organizational integration, technical integration, organization, structure, organizational culture, processes, people, IT, citizen understanding, capabilities and resources. The author analyzes the opportunities for e-government transformation in public sector organizations and how these opportunities can be enhanced. Manny et al. (2021), studying the public infrastructure sector in Switzerland and using a sample of 23 Swiss sub-states (cantons), categorize barriers into three groups: individual (cultural norms, attitude, belief, managerial vision); organizational (human resources, innovation culture); and institutional (political science, public administration).

In the context of the smart city, Alawadhi et al. (2012) identify and categorize technology, management, organization, political context, and governance barriers, among others. More specifically, the authors study smart city initiatives in four North American cities: Philadelphia and Seattle in the United States, Quebec City in Canada and Mexico City in Mexico. Investigating the key success factors of DT projects in cities in Norway, Ruud's (2017) categories of barriers are culture, process, change management, digital skills, demographic, and financial barriers. Investigating governance as a tool for DT in a Swedish municipality, Aidanpää & Sjöberg (2021) identify and categorize organizational, structural, cultural, human resource, economic, and technological barriers. Investigating barriers that hinder the success of DT in small and medium-sized cities, Jakob & Kremer (2018) categorize DT barriers into either internal or external barriers. They further refine internal

barriers into three subcategories: strategic, political and resource. Tangi et al. (2020) also look at internal and external barriers as well as drivers. They categorize the barriers and drivers of DT in public organizations into structural barriers, cultural barriers, internal drivers, and external drivers. They also investigate the drivers and barriers hindering and leading the transformational process that is initiated by the introduction of ICT in Dutch public administrations.

While growing attention is placed on municipalities and their DT to support the planning, delivery, use and management of the built assets under their remit as well as the services they deliver, more work is still needed to fully understand and structure this promising and crucial process. Indeed, gaps in knowledge are evident, namely around the absence of research on DT and how it can potentially support urban infrastructure asset lifecycle management activities at the municipal level. The advent of digital twins has introduced new avenues of research which still need to be developed and articulated within the municipal framework. Furthermore, there is little research on DT that takes into consideration the notion of value, especially focusing on improving services and the quality of life for citizens as opposed to monetary value. Within Canada, no research was found that investigates DT of urban infrastructure asset lifecycle management at the municipal level. Lastly, a large portion of research is case study based which limits generalizability of results or is limited to interviews conducted within a single government organization. As such, no research was found that aims to develop and validate a systematic approach to characterize and articulate barriers and challenges to DT within the municipal built asset domain.

4.3.1 Research Methodology and Results

To understand the DT needed to support integrated urban infrastructure asset planning, delivery, management and use within municipalities, a longitudinal research project was undertaken which involved a number of municipalities located in the province of Quebec, Canada. A theoretical framework that aims to articulate the barriers and challenges that prevent successful DT to support lifecycle activities relating to urban infrastructure assets in

municipalities was first developed from the literature and validated through workshops. A series of interviews and a survey were then conducted to further extend and validate the framework. Lastly, an in-depth case study of a municipality was conducted over a 9-month period. This paper focuses on the development and validation of the preliminary theoretical framework.

To attain the objectives outlined in the introduction, a systematic literature review was conducted in five steps. Figure 4.1 summarizes the process used to conduct the systematic literature review. A total of 202 articles were retained following the initial search. Duplicates were removed, resulting in 107 relevant articles. From these, an eligibility test was conducted according to well-defined criteria. A total of 63 relevant articles remained (Table 4.4), 9 of which served to inform the development of the framework (Table 4.1).

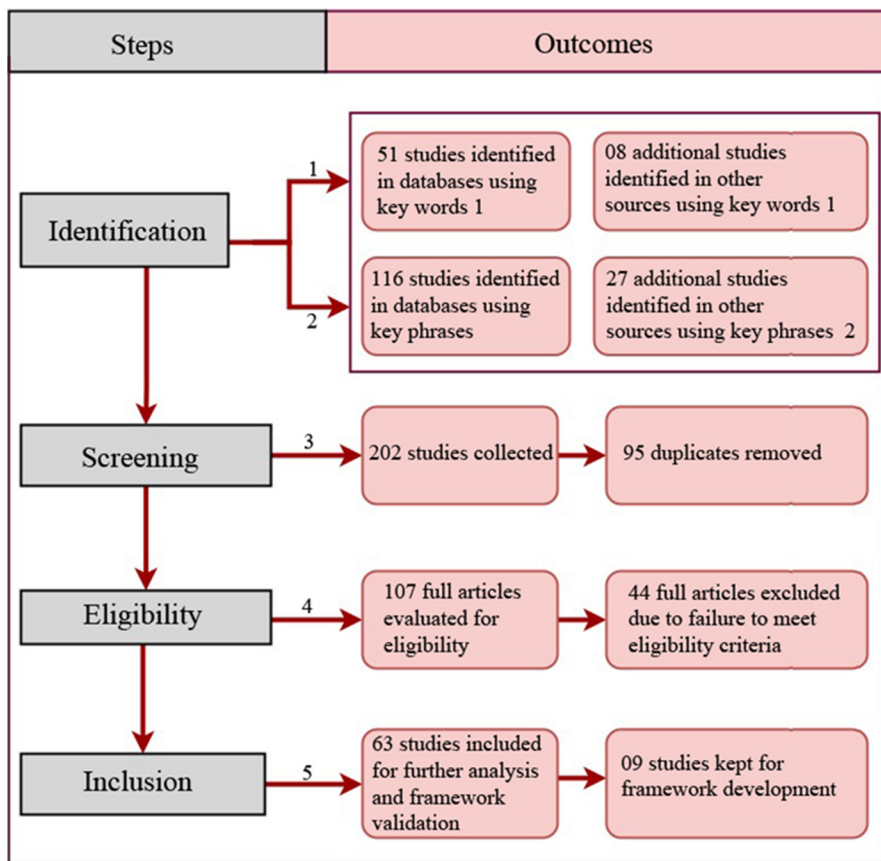


Figure 4.1 Refinement steps and results and number of related articles

4.3.1.1 Identification and collection of articles

Relevant research was identified using two search strategies: a keyword search and a key phrases search. For the keyword search, online search engines such as Google Scholar and Web of Science, Compendex, Inspec, IEEE, Xplore and Eureka.cc databases were used. Some of terms are identified in Table 4.1. Most of the results of this step were related to the concepts of digital city, e-government and e-administration based on ICT. While the results were deemed relevant, they were not all directly related to DT for municipal urban infrastructure assets.

The second search built off these initial results to provide a more complete and thorough picture. To assist in the process, specialists from the university library were consulted to better focus the process. In this step, the results from the first step of the research were confirmed and the process was validated. However, expanding the scope of the search failed to produce additional results. At this stage, a series of tools were used to assist with the process, such as developing search equations; searching in multiple languages (English, French, etc.); broadening the search area to include other studies on the same topics; and including other search tools, such as Scopus. During this step, additional sources were identified from the reference lists from the reviewed articles. Additional words, phrases, equations, and search operators were added during this step (Table 4.2).

The results of this second step resulted in a broadening of the research scope to include research on topics including Smart City, Open Municipal Government (open data), Building Information Modeling (BIM), Geographic Information System (GIS), City Information Modeling (CIM) and Digital Twin of City.

Figure 4.2 Some words, phrases, equations, and search operators used

English	French
Search by keywords	
Barriers	Barrières
Drivers	moteurs
challenges	Défis
Barriers	Barrières
digital transformation of municipalities	transformation numérique des municipalités
management of built assets	Gestion des actifs bâtis
Digital twin	Jumeau numérique
Digital twin of cities	Jumeau numérique des villes
BIM	BIM
CIM	CIM
Smart City	Ville intelligente
Search by key phrase	
Drivers digital transformation of municipalities	Moteurs transformation numérique des municipalités
challenges digital transformation of municipalities	Défis transformation numérique des municipalités
Barriers digital transformation of municipalities	Barrières transformation numérique des municipalités
Barriers of Digital twin of cities	Barrières de jumeau numérique des villes
Barriers to digital transformation of built assets	Barrières de transformation numérique des actifs bâtis
Smart city digital twin challenges	Défis du jumeau numérique de ville intelligente
Smart cities digital transformation	Transformation numérique des villes intelligente
Smart city digital twin barriers	Barrières du jumeau numérique de ville intelligente
Smart city digital twin drivers	Pilotes de jumeaux numériques Smart City
Smart City Digital Twins Roadmap	Feuille de route jumeaux numériques Smart City
digital transformation of built assets of municipalities Roadmap	Feuille de route transformation numérique des actifs bâtis des municipalités
Sondage pancanadien de transformation numérique municipale	Pan-Canadian municipal digital transformation survey
Sondage de numérisation des actifs bâtis dans les municipalités Canadiennes	Survey of digital transformation of built assets management in Canadian municipalities
Portrait sur la transformation numérique des municipalités canadienne	Portrait of the digital transformation of Canadian municipalities
Search by equations	
(barrier* OR driver* OR challenge*) AND ("digital transformation of municipal*" OR "built assets* management" OR "city* digital twin*" OR "BIM" OR "CIM") AND ("smart city" OR "smart cities")	
((barrier* OR driver* OR challenge*) AND (digital transformation of municipal*))	
(barrier* OR driver* OR challenge*) AND ("digital transformation of municipal*" OR "infrastructure assets* management"	

4.3.1.2 Screening, eligibility, and inclusion

During this step, a more detailed analysis of the 107 filtered articles was done to further validate their eligibility. Information on the source journal, year of publication, topics discussed, among other things, was compiled to facilitate this assessment. The eligibility of the research was determined based on the following set of criteria:

- Topic or some content should focus on organizational aspects of public sector DT.
- Research from 2002 to 2022 is included.
- The search was done in two languages (English and French).
- The research selected was peer-reviewed scientific articles, books, and doctoral theses. White papers, non-peer reviewed conference papers, and similar studies by a same author were excluded.

4.3.1.3 Categorization of barriers and issues to DT found in the literature

Following the identification and screening process, sixty-three (63) studies were selected and reviewed. Approximately 160 barriers and issues to DT in municipal urban infrastructure assets were identified, but given that several were closely related or had similar meanings, these were consolidated and refined. In parallel, the categories of barriers and issues were developed from the past literature highlighted above. They are summarized in Table 4.3.

4.4 Framework design

Past research has investigated drivers and barriers to DT within governmental and/or municipal contexts. As mentioned, these have not focused on municipal built assets and their related services. Thus, a framework has been developed based on a systematic literature review to define a set of elements that can serve to assess the level of integrity of the DT process or initiative and the barriers and issues that can hinder it.

Some 160 barriers and issues were identified and, when relevant, were combined into sub-categories. As shown in Table 4.3, 22 sub-categories of barriers divided into six categories have been defined and constitute the proposed theoretical framework.

Tableau 4.3 Proposed categorizations of digital transformation barriers from the literature

06 Categories		22 Subcategories	
1	Strategy / Governance / steering / leadership / Financial resources	Lack of guidance and/or leadership	1
		Lack of a strategic plan	2
		Unmanaged external pressure	3
		Lack of governance	4
		Lack of support from senior management	5
		Funding issues	6
2	Process / practice / management	Lack of collaboration	7
		Absence of data management	8
		Misalignment of current practices and management	9
3	Organization / Structure / Culture	Absence of organizational change management	10
		Lack of communication	11
		Lack of training	12
		Non-conducive organizational culture	13
4	Policy / standards / regulations / laws / contracts	Inadequate policy and support from elected officials	14
		Lack or incompatible standards / contracts	15
		Incompatible laws and regulations	16
5	People / Community / Network	Limited vision	17
		Resistance to change	18
		Lack of human resources	19
		Perceptions from the citizens	20
6	Digital / Information Ecosystem	Inadequate technologies and tools	21
		Incompatibility and/or inadequacy of existing information systems	22

Table 4.4 shows the occurrence of barriers identified with the framework within the literature. At a glance, none of the studies identify all 22 barrier subcategories. Alawadhi et al. (2012) identified the largest number of barriers, with 14 of the 22 identified. The studies by Aidanpää & Sjöberg (2021) and VanVeenstra, Klievink & Janssen (2017) identified 13 barriers. The remaining studies identified less than nine.

The most frequently mentioned barrier in the review was “lack of organizational change management”, which was highlighted in 18 studies. Indeed, the management of organizational change and the reconfiguration of organizational structures are the process of overall or substantial modification of an organization, regardless of its type. The reconfiguration of organizational structures and its business practices and the underlying change management required to achieve it should technically lead to a transformation organization which would have a positive impact, namely on performance. Organizational change is characterized by the pace, willingness, and magnitude of change. According to Kurt Lewin (1991), change management goes through three phases: awareness, implementation, and adaptation. Moreover, significant organizational change is considered necessary to realize the benefits of DT within organizations (Sun et al.; Klievink et al., 2017; Surbakti et al., 2019). Consequently, the different service lines of an organization must cooperate and integrate their activities by leveraging the possibilities offered by DT in a structured manner, at a pace and within a scope that makes sense for the organization (Layne & Lee, 2001; Dhillon, Weerakkody & Dwivedi, 2008).

Three barriers tied for second place: “absence of data management” “misalignment of current practices and management” and “lack of training”; each was cited in 13 studies. While being identified as a critical aspect of DT by many, effective data management is neglected in the literature (Maciejewski, 2017 Sun et al., 2016 ; Surbakti et al., 2020). Therefore, the effective use of data requires changes in roles, routines, practices and decision making within an organization (Klievink et al., 2016 ; Sun et al., 2016). Also, there are several concerns about security and over-reliance on data for complex problem solving (Giest & Samuels, 2020 ; Manny et al., 2021). In addition, data privacy issues lead to distrust (Matheus et al., 2020) and poor data management leads to data waste (Mergel et al., 2016). In parallel, lack of training also hinders effective DT (Giest, 2017).

The third most mentioned barriers were "Non-conducive organizational culture”, “lack of human resources” and “ incompatibility and/or inadequacy of existing information systems”, which were identified in 10 studies. Indeed, the set of attitudes and modes of

operation influence behaviors and, consequently, practices in cities. The rational behavior of individuals is influenced by the institutional context and cultural norms of an organization (Scharpf, 2018). Lack of human resources is also one of the most important barriers influencing successful DT (Sun et al., 2016; Ingildsen & Olsson, 2016; Giest, 2017; Manny et al., 2021). However, the availability of IT resources and knowledge does not necessarily imply knowledge in other areas of DT. Lastly, information systems exist to support decision making and legacy systems are adapted to a context that is no longer suitable. To ensure successful DT, IT departments should work in collaboration with other domains to define a good strategy for data management and use (Klievink et al., 2016).

Building off the notion of change management, “Resistance to change” was mentioned in 9 studies. Indeed, reluctance is generally inherent to any change process. Generally, new initiatives and changes are unwelcomed in the public sector for a number of reasons: lack of understanding of the meaning of change, lack of skills (Surbakti et al., 2020), fear of the unknown, lack of trust, personal relationship with old ways of doing things (Alawadhi et al., 2012, Weerakkody et al., 2019), and poor communication (Alawadhi & al, 2012, Walport & Craig, 2014, Tangi et al., 2020). Thus, several behaviors and attitudes indicate an unwillingness to support change or make changes. Employees at the operational level feel that they are neglected when implementing digital technologies (Klievink et al., 2016). Also, many digital initiatives are used to control the work of employees, which leads to distrust (Alawadhi et al., 2012); the latter is becoming evident in the public sector.

A “Lack of collaboration”, which was mentioned in 8 studies, and working in silos are identified as barriers. They often stem from existing administrative and institutional structures that define the way of working (Giest, 2017).

A “Lack of guidance and/or leadership” and “inadequate policy and support from elected officials” are mentioned in 7 studies. These barriers are significant as DT can potentially affect the whole political cycle (Höchtel et al., 2016), on the input side, from policy processes, (Janssen & Helbig, 2018), to its end, through the implementation of policies through online public services or data-driven policy evaluation (Lavertu, 2016)

Established structures and procedures are generally incompatible with today's transformative context. Indeed, public administration actors generally rely on established traditions and "ways of doing things" which can hinder innovation (DiMaggio & Powell, 1983).

While technical advances in digital technologies promise multiple benefits, their implementation in existing organizational structures is often difficult (Wang & Feeney, 2014; Shearmur & Poirier, 2016). Several barriers pertain to the technology and limitations of current operating systems as well as a large number of systems, even though "inadequate technology and tools" are only mentioned in 7 studies. Digital initiatives being implemented are sometimes not tailored to the employees who use them and do not create value for citizens which causes issues in the DT process.

The realization of DT initiatives is often hampered by insufficient financial support. As such, "Funding issues" are identified in 6 studies as major barriers. Moreover, in most of the research reviewed, DT is motivated by financial reasons. Some research indicates that city employees interviewed see DT initiatives, such as the smart city, as good for maintaining or even improving the quality of the city. For example, the case study of Värmdö kommun in Sweden shows that as the demographics are changing, the city may not be able to afford to take care of its aging population, as it is not able to increase the number of tax-paying citizens to cover the growing costs, it has to seek ways to transform its organization (Aidanpää & Sjöberg, 2021). While funding of a DT initiative by the city has allowed for the implementation of digital initiatives, these have been criticized by employees and the media. This criticism is partly because employees and external stakeholders do not realize that financial resources are being allocated to projects to improve the services the municipality offers.

"External pressure" is mentioned in 5 studies.

Beyond funding and external perceptions, cities are governed by laws and regulations, which can impede planned changes. Public organizations control resources, procedures and

demands. Thus, the organization is limited in what initiatives it can develop and implement. As such “incompatible laws and regulations” appear in 5 studies.

Manager belief and vision are very important for organizational innovation (Rogers, 2003). According to Guenduez et al. (2018), a vision for DT is to provide more well-being with less financial resources. A **“limited vision” for DT and a “lack of a strategic plan” are mentioned in 4 of the studies.** In addition, the appropriate use of large amounts of data is still very limited in the public sector and this is largely due to manager perception towards digitization and data management (Mergel et al., 2018).

Moreover, some public agencies are less inclined to change because of the citizens’ concerns. Investments and efforts are being made to improve the performance of cities, according to citizens (Waddock, 2000). However, the trend is to generate more value to justify the funneling of tax dollars towards DT, which implies less spending on initiatives that citizens do support (Knobloch et al., 2019).

4.5 Framework validation

4.5.1 Methodology and profile of workshop respondents

The second part of the objectives of this first part of the research project focused on validating the framework. As such, a series of workshops were conducted as part of another broader DT project at a multi-governmental level. The data collected were reused and reanalyzed according to the framework developed, given the relevance of the data collected and the approach taken to analyze it. The research team conducted two series of two workshops lasting 90 minutes each independently, in two municipalities. Both municipalities are large cities (population over 500,000) located in Canada. Each workshop was conducted over a two-week period. The objective was to establish a general sense of the two cities’ competencies and capacity to support DT and to identify priorities and challenges. Workshop participants were asked to identify barriers to DT, both perceived and real, as part of the workshop. For reasons related to COVID-19, the workshops were conducted remotely by videoconference. During the workshops, participants were separated into subgroups. Participants interacted on an online interactive whiteboard environment using post-it notes.

A total of sixteen (16) employees from Municipality A participated in Workshop A whereas twenty (20) employees from Municipality B participated in Workshop B. For both cities, the employees were professionals of different departments, ages, and years of experience.

4.5.2 Issues and Outcomes from the workshops

During the workshop, participants discussed and answered the following questions:

1. What do you think DT means for your city?
2. How do you see this transformation? What are your wishes and needs?
3. What are its challenges and issues?

Designated participants were identified to share the results of the discussions of the break-out groups in each plenary. Following the workshop, participant responses were consolidated and categorized according to the initial framework (Table 3). Data consolidation is the first important step in sorting and organizing the data so that initial conclusions can be drawn and verified (Miles & Huberman, 2003). This step served as a basis for validating the literature-based framework. Table 4.5 presents the results of the two workshops whereby researchers discussed and validated the categorization. Both the percentage of responses and total number of responses are indicated. The last row is used to leave comments, namely on the relevance and validity of the subcomponents, e.g., should they be kept, removed, or reassigned. As such, “Outputs” can be removed from the framework. “Inputs” are sub-categories that were frequently mentioned in the workshops and that were not in the original framework, so they could be added.

Tableau 4.5 Occurrence of workshops-identified barriers, interpreted via the framework

Categories and subcategories	no of	% of	% of	no of
	responses	responses	responses	responses
	city A	city A	city B	city B
Strategy / Governance / steering / leadership / Financial resources	9	7%	6%	8
Lack of guidance and/or leadership	0	0%	1%	1
Lack of a strategic plan	5	4%	2%	2
Unmanaged external pressure	0	0%	0%	0
Lack of governance	0	0%	1%	1
Lack of support from senior management	4	3%	1%	0
Funding issues	0	0%	1%	4
Process / practice / management	47	34%	26%	24
Lack of collaboration	9	7%	6%	6
Absence of data management	18	13%	10%	9
Misalignment of current practices and management	20	15%	10%	9
Organization / Structure / Culture	9	7%	13%	12
Absence of organizational change management	1	7%	3%	3
Lack of communication	5	4%	0%	0
Lack of training	2	1%	8%	7
Non-conducive organizational culture	1	1%	2%	2
Policy / standards / regulations / laws / contracts	6	4%	11%	10
Inadequate policy and support from elected officials	0	0%	2%	2
Lack or incompatible standards / contracts	6	4%	9%	8
Incompatible laws and regulations	0	0%	0%	0
People / Community / Network	20	15%	10%	9
Limited vision	1	1%	1%	1
Resistance to change	11	8%	2%	2
Lack of human resources	8	6%	6%	6
Perceptions from the citizens	0	0%	0%	0
Digital / Information Ecosystem	24	18%	10%	9
Inadequate technologies and tools	10	7%	6%	6
Incompatibility and/or inadequacy of existing information systems	14	10%	3%	3
Intrants	22	16%	23%	21
Maturity level / Lack of internal expertise	8	6%	11%	10
Asset management / valuable creation	6	4%	8%	7
Process Automation / Digital asset	3	2%	0%	0
Rhythm / long term / life cycle	5	4%	4%	4
Total général	137	100%	100%	93

4.6 Discussion

An analysis of the workshop data revealed that the greatest concentration of barriers and issues is in “process/practice/management”, with 34% and 26% for subcategories “Misalignment of current practices and management” and “Data management” respectively. Just as in the literature review, “Absence of data management” ranked second, while “managing structural and/or organizational change” ranked first.

Compared to the results of the literature review, there are very few or no responses in more than seven subcategories. This may be due to the context of the responses, namely that respondents simply did not think about these issues and/or the responses do not apply to the specific context of these two cases (Municipality A and B), without generalizing.

There are subcategories with a minimal percentage of occurrence, for example: “Financing” has a score of 0% (Municipality A) and 1% (Municipality B). But given that their impact and value are important, neglecting them is a major issue.

Four sub-categories emerged, the most cited of which were “asset management maturity level” and “digital maturity level”. Compared to the results of the literature review, they are considered “inputs” because the percentage of citations in the workshops is still significant compared to the citations of the other subcategories.

This lack of knowledge about asset management (AM) and DT and how to link the two areas are two emerging inputs and their importance is paramount. Moreover, they can be considered in the training sub-category. Literature in this domain is relatively new and both inputs are constantly evolving. Therefore, it is not surprising that they were mentioned in the workshop more than in the literature.

Even if the distribution of the two cities’ percentages of responses is close, there is still a gap between some of the responses, such as for example, in the area of “existing information systems”. Also, for city B, such a low percentage (2%) at the level of “resistance to change” is dubious. These results are understandable, as each city represents a particular context.

Each city has its own strengths and weaknesses, and the framework is indeed “agnostic”, meaning it is applicable to a wide range of cases.

There is a positive relationship between training, lack of human resources and level of maturity/expertise. The literature also mentioned these as the most important barriers.

The “limited vision” sub-category is moved to the “Strategy/Governance/Pilot” category of the framework. The vision will define where the organization should go, clearly communicate what it wants to achieve as objectives, mobilize and motivate employees to follow this vision, and all this helps to develop the strategy

4.7 Conclusion

In response to growing financial, social, and environmental pressures, cities are increasingly turning towards the DT of urban infrastructure asset management activities. DT can have a great impact on the organization and its activities and is constantly changing as technology and industry evolve.

This paper presents the results of a first stage of a longitudinal research project aimed at helping cities conduct a planned, and structured digital transformation. This DT will lead to the integration of information sources and implementation of digital twins to better meet the needs of citizens and maintain the quality of service over the long term.

As a first step, a systematic literature review was conducted to identify the barriers and challenges in initiating and sustaining a DT. Some directions were also identified to help cities undertake a sustained and structured DT and a picture of the barriers and issues that cities face today and need to reduce and/or eliminate was drawn. A DT framework comprised of 22 areas articulated into six categories was devised. It was validated and refined during two workshops with two large Canadian municipalities.

In the literature review, first 202 scientific studies were identified and examined that discussed the concepts of DT and its impact on cities, its obstacles and challenges, existing DT frameworks, and how public organizations adapt to digital development, as well as the

guidelines they use for DT. After a refinement process, the number of papers was reduced to 63, in which 9 existing frameworks were presented.

The literature review led to the design of a DT framework that was validated and improved through two workshops in two major Canadian cities. The analysis of the workshop data revealed that the greatest concentration of barriers and issues lies with “Misalignment of current practices/management” and “Absence of data management”. Like the literature review, “Absence of data management” ranked as the most important barrier, while “structural and/or organizational change management” ranked first.

Two challenges emerged from the workshops: the level of asset management maturity and the level of digital maturity. The lack of knowledge about asset management and digital transformation and how to link the two areas is a priority and of paramount importance.

This article contributes to the body of knowledge by shedding new light on the digital transformation at the municipal level. While digital transformation is addressed in the literature from several angles, for example: e-government, the digital city, the smart city, digital transformation projects in municipalities, digitization of administration, and ICT in public administrations, among others, the present research explores a rarely addressed angle, that of digital transformation for asset management at the city level and rarer still, urban infrastructure assets. The expected scientific contribution thus covers part of the gap identified during the literature review.

Moreover, the present research approaches DT of municipal built assets in a systemic way and draws the attention of the practical world to the value that the framework can bring to undertake a pre-planned and federated DT.

4.8 Limitations and future work

The developed framework offers guidelines that governments can benefit from by anticipating specific barriers and challenges. Limitations include limited experimental conditions, small sample size, and a relatively short timeframe. Further work is needed to validate the framework, which is currently underway and presented in part II of the paper.

Other approaches are advocated to complement the data collection and analysis to generate more convincing results.

A potential sampling bias could be found with the current study seeing as the sample is limited to two large cities. During data collection, the questions asked of participants are about their perceived impact on their practice. The questionnaire needs to be further developed and written in such a way as to evaluate the framework for validation.

Future research is currently underway to test the generalizability and usability of the findings from the framework and the method used to ensure its validity in real-world conditions, and to adapt it to the context of different types and sizes of municipalities.

CHAPITRE 5

DIGITAL TRANSFORMATION WITHIN MUNICIPALITIES FOR THE PLANNING, DELIVERY, USE AND MANAGEMENT OF URBAN INFRASTRUCTURE ASSETS – PART 2: OPERATIONALIZATION AND EXTENSION OF A THEORETICAL FRAMEWORK

Nawel Lafioune¹, Anais Desmarest¹, Érik Andrew Poirier¹ and Michèle St-Jacques¹

¹Department of Construction Engineering, École de Technologie Supérieure,
1100 Notre-Dame West, Montreal, Quebec, (H3C 1K3) Canada

This chapter is submitted as an article for publication in « Sustainable futures »,
an applied Journal of Technology, Environment and focused
and their larger implications for government.
Submitted on December 13, 2022. Submission Confirmation: SFTR-D-22-00155

5.1 Abstract

As the acceleration of technological development in the built asset industry brings on waves of digital transformation (DT), traditional ways of doing and organizing are being disrupted, especially on the part of large public owners such as municipalities. For these owners, these waves of transformation require constant adaptation as they compete with existing initiatives and embedded legacy practices.

This paper presents the results of the second part of a longitudinal research project aimed at framing digital transformation within municipalities to improve urban infrastructure lifecycles. More specifically, the paper presents the results of work undertaken to operationalize, extend and further validate the digital transformation framework that has been developed in part 1 and which is presented elsewhere. The theoretical framework acts as a guide and analysis tool for the digital transformation of municipalities and aims to help them reduce and/or eliminate the barriers and challenges in this digital transformation. To do so, the results from a survey conducted within 44 municipalities and interviews conducted with 13 municipalities of different sizes are presented and discussed through the theoretical framework.

The results show that data and information management remain the key issues, especially in a siloed organizational context such as those found within municipalities. Moreover, a significant amount of organizations remain unaware of how to approach digital transformation which in turn leads to disinterest or disengagement in digital transformation, which results in localized or fragmented initiatives. This in turn can cause delays in implementing transformational initiatives and contributes to maintaining a low level of digital maturity. The study also highlights the critical lack of human resources, expertise and appropriate training to support digital transformation.

5.2 Introduction

Municipalities across Canada, like many municipalities around the world, are often forced to play catch up and do more with less, due to the increasingly poor condition of urban infrastructure assets and a stagnation or reduction in available funds (Champagne & Beaudry, 2018). Despite considerable investment, the rate of asset maintenance deficits continues to grow (Pourreaux & Galipeau, 2016). Moreover, and as discussed elsewhere, municipalities are at the forefront of combatting climate change and ensuring resilience of the built environment.

Digital transformation within municipalities can potentially help overcome these challenges, yet this transformation is teeming with challenges (Creusé, 2021). Indeed, as with other domains, municipalities are facing the considerable rise in the use of technology to support a variety of business processes (Kaufmann, 2014). While these tools allow the collection of data on different assets and specific types of technologies are increasingly being used, municipalities lack the skills to store, process and use the data effectively (Caron & al., 2020). This means that the potential wealth of data and information that is captured, goes largely unused (Moritz, 2016). Part of the reason for this is that municipalities tend to undertake a digital transformation in a haphazard and fragmented manner. Indeed, the digital transformation of the lifecycle activities of urban infrastructure assets rarely find their way into the strategic planning process within municipalities. To this effect, digital transformation

has been shown to require a long-term vision and holistic understanding of an organization's needs which is often not the case in most municipalities.

The research presented in this paper is part of a longitudinal study on digital transformation to support integrated urban infrastructure asset planning, delivery, management and use within municipalities. This paper focuses on the operationalization, further validation and extension of a theoretical framework that aims to articulate the criteria of successful digital transformation supporting the urban infrastructure assets' lifecycle activities within municipalities. More specifically, this paper builds on a preliminary theoretical framework that focused on the identification of barriers and challenges constraining digital transformation in the municipal context, especially with regards to urban infrastructure assets lifecycle activities for existing and yet-to-be-constructed built assets, such as buildings, roads, railways, sewers, and water systems, etc., presented in Manuscript Part1.

The objectives of the research presented in this paper are: (1) to further validate and refine the barriers and challenges identified within the preliminary theoretical framework, (2) to operationalize and extend the constructs within the framework, and (3) to identify and evaluate trends concerning digital transformation within Canadian municipalities. To achieve this, a mixed-method approach is employed which includes both survey and interview data. Using data from 135 survey respondents covering 44 municipalities and 22 interviews covering 13 municipalities of different sizes, the theoretical framework is operationalized and extended to understand the current state of digital transformation in Canadian municipalities.

A summary of the theoretical framework for digital transformation developed in Manuscript Part1 is first presented. The research methodology used to operationalize and extend this framework is then presented. Namely, the results from the survey and interviews are each presented separately. The results obtained through each method are compared and discussed. Subsequently, their implications for research and practice are exposed. This comparative work is integrated into the framework to extend it with recommendations for action, which gives rise to the final framework. Finally, the article concludes with the importance of the

findings of the study, namely for municipalities in their digital transformation. Potential future research is discussed and the limitations of the study are exposed.

The paper contributes to the field of research in digital transformation in built environments through the operationalization of a theoretical framework and its extension. While other frameworks for digital transformation have been developed, none have focused on the urban infrastructure asset management domain. This framework provides a guide and analysis tool for the digital transformation of public organizations and shows the potential that could be applied in practice. Using the framework as such a tool, the results show that management of data and information consistently rank as the main issue for municipalities. The results also show that there is a critical lack of human resources, expertise, and appropriate training to support digital transformation.

The description of the methodology and methods are another contribution. They show, in detail, how to draw reliable conclusions from qualitative data, which is beneficial to both the theoretical and practical community.

5.3 Methodology

The research presented in this paper builds off a preliminary theoretical framework developed in Manuscript Part1 that identifies the barriers and challenges of municipalities towards digital transformation. The framework contains 22 sub-categories structured into six broad categories as shown in Table 5.1. This framework was used to design the survey and interview questions. Figure 5.1 presents the methodology and methods of analysis for this operationalization and extension of the framework.

Tableau 5.1 Preliminary Framework developed in Manuscript Part1

Categories		Subcategories
1	Strategy / Governance / steering / leadership / Financial resources	Lack of guidance and/or leadership
		Lack of a strategic plan
		Unmanaged external pressure
		Lack of governance
		Lack of support from senior management
2	Process / practice / management	Funding issues
		Lack of collaboration
		Absence of data management
3	Organization / Structure / Culture	Misalignment of current practices and management
		Absence of organizational change management
		Lack of communication
		Lack of training
4	Policy / standards / regulations / laws / contracts	Non-conducive organizational culture
		Inadequate policy and support from elected officials
		Lack or incompatible standards / contracts
5	People / Community / Network	Incompatible laws and regulations
		Limited vision
		Resistance to change
		Lack of human resources
6	Digital / Information Ecosystem	Perceptions from the citizens
		Inadequate technologies and tools
		Incompatibility and/or inadequacy of existing information systems

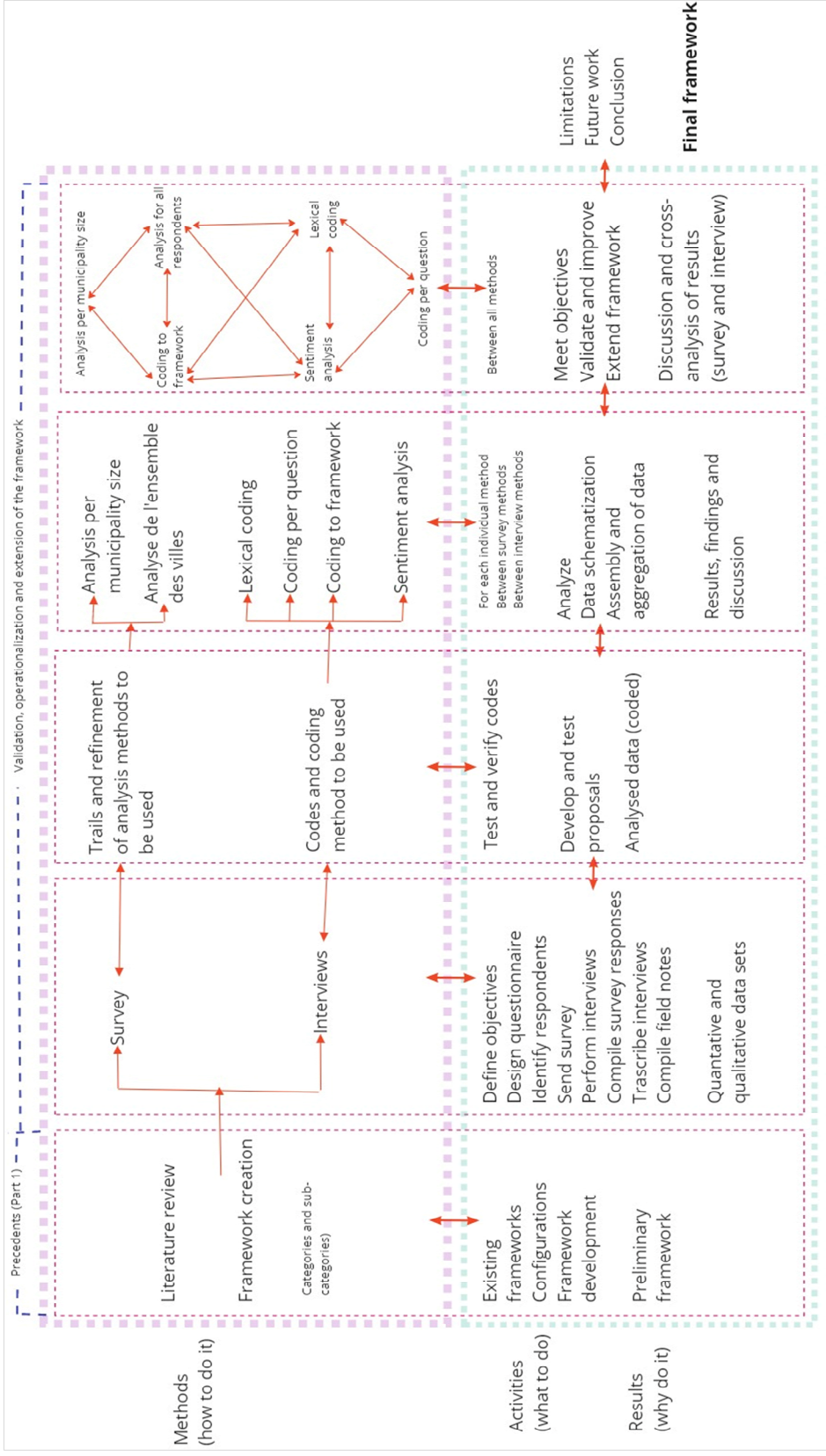


Figure 5.1 Analysis sequences from a pre-structured framework

5.3.1 Survey

The survey targeted respondents selected according to the following criteria:

1. Employees from municipalities of all sizes (large, medium, small, and very small).
2. Employees working in different departments within a municipality.
3. Employees holding a position that includes at least one asset management activity.

The distribution of respondents' functions should cover an identical portion, ideally, in the three levels of asset management: strategic, tactical, and operational.

4. A minimum number of 40 respondents per asset management level, i.e., $40 \times 3 = 120$ targeted respondents.

The survey consisted of 25 multiple choice questions designed around the sub-categories of the framework, each with a specific purpose. These questions are presented with the results in Section 3.1.2. The questionnaire was verified, improved, and validated through a pre-test. It was then reformatted using an online platform to facilitate data collection. The survey was designed to take a maximum of 10 minutes.

5.3.2 Interviews

Semi-structured interviews were conducted in parallel with employees from several targeted municipalities across Quebec. At the end of the survey, respondents were asked if they would agree to the interview. Those who accepted and passed represent the sample of interviewees. The interviews served to provide more depth of coverage to the data collection, which in turn served to operationalize the framework as an analysis tool. Due to COVID 19-related health measures, the interviews were conducted remotely. Interviews lasted an average of 20 minutes and were conducted over a 4-month period.

The first interviews were used to adjust the questionnaire and refine it accordingly. The interview questions are organized according to the framework (Table 5.1). There are six open-ended questions that encourage respondents to expand on their responses for each category.

Data collection was done by taking notes and recording the entire interview. Before the interview began, the interviewer made clear as to the confidentiality of the information, and the anonymity of the municipality and the respondent. The complete and automated transcription of the audio was done at the same time as the interview. The transcription was adjusted immediately after the interview so it would be as accurate as possible.

5.3.3 Analytical Methods and Tools

The analysis of the survey data was done for each municipality and was then reanalyzed according to the size of the municipality. Indeed, this indicator was often mentioned during the interviews. The data collected was compiled and then analyzed by two researchers, separately. The results were compared, discussed, and heard in a single final result which was exposed to the third researcher and validated.

The analysis of the interview data was done using four methods, as shown in Figure 6.1. A systemic random analysis of the textual data resulting from the interview transcripts and grouping by the same meaning was performed (lexical coding). A content analysis and its measurement by lexical statistics was done according to the answers to the survey questions (per-question coding) and according to the framework (per-barrier coding). An analysis of the opinions, judgments, and emotions of the discourse, followed by the measurement of the content (sentiment coding) was also performed. “Nvivo version 12” was used for the analysis of the collected interview data. It helped identify the frequency, order of words or phrases used by the respondents.

5.4 Results

5.4.1 Survey

5.4.1.1 Profile of Survey Respondents

The number of survey respondents exceeded the target number. The survey resulted in a high return rate (112.5%), with 135 respondents working in 44 municipalities instead of 120 respondents working in 40 municipalities. Table 5.2 shows the Quebec municipalities, the number of municipalities and their sizes according to the Ministère des Affaires Municipales et de l'Habitation (2020). It presents the profile of survey respondents with the distribution rate between the three levels of asset management.

Figure 5.2 Profiles and number of survey respondents

No. of: Cities in Quebec by size / Cities with respondents / Respondents by city size						No. of respondents / level of asset manage		
City size	No. of living	No. of cities in Quebec	No. of cities with respondents	No. of cities with respondents	% of respondents	Level	No. of respondents	% of respondents
Big	> 100 000	10	9	40	29.63	Strategic	34	25
Medium	10 000 < X < 99 999	96	27	83	61.48	Tactical	28	21
Small and very small	X' < 2 000 < X < 9 999	290 + 711	7	11	8.14	Operational	46	34
Not indicated	-	-	1	1	0.75	Not indicated	27	20
Total	8 426 075 hab	> 1100	44	135	100	3	135	100
Portrait of cities in Quebec			Survey Respondent Profiles					
Source : Décret 1214-2019 du 11 décembre 2019								
Note: In Quebec, city and municipality each have their own definition. The word "city" designates both for the present research.								

5.4.1.2 Results of the analysis for all municipalities

Table 5.3 presents the categories, subcategories, questions, and survey responses. Since Table 5.3 and Figure 5.2 do not correspond to all responses, the results of the analysis of survey responses 10 and 22 are presented in Table 5.4 and the results of the analysis of survey responses 14, 19 and 23 are presented in Table 5.5. Figure 5.2 summarizes the survey results for all respondents.

Tableau 5.3 Results of the analysis of survey responses

Category and Subcategory		Question	Results
Strategy / Governance / Steering / Leadership	Vision	1/ Do your managers have a common vision on the digital transformation of urban infrastructure assets?	65% of respondents say that their managers do not share a common digital transformation view of urban infrastructure assets.
	Strategy	2/ Does your municipality have a strategic plan for digital transformation of urban infrastructure assets or related to digital?	67% of respondents said that their municipality does not have a strategic plan for urban infrastructure assets.
	Application of the strategy	3/ Is this strategic plan reflected in the municipality's activities (actions)?	82% of respondents who answered "yes" to question 2 said that the digital transformation's strategic plan is reflected in actions.
	Action follow-up	4/ Is there accountability (performance evaluation) for the activities of this strategic plan?	Even for those municipalities that have taken action, 70% have no follow-up.
	Financing	5/ During the planning of your municipality's project portfolio, is there any funding in the Three-Year Capital Program (TTP) for the digital transformation projects?	For 67% of respondents, digital transformation is not included in the ITP, it is not considered a priority for investment, digital transformation is unknown and the benefits are not identified.
Process / Practice / Management	Current practices and management	6/ Does your municipality have a set of predefined tasks and activities for initiating, executing and analyzing digital transformation of urban infrastructure assets projects?	67% of respondents say that there are no predefined tasks or activities for initiating digital transformation projects.
	Validation of activities	7/ Does your municipality have a central team that validates all digital transformation of urban infrastructure assets activities?	79% of respondents said that there is no team that validates digital transformation activities.
	Validation of activities	8/ In your municipality, do employees have access to professional training to familiarize them with the digital transformation of urban infrastructure assets?	60% of respondents do not consider that employees have access to training to become familiar with digital transformation.
	Training	8.a / If yes, do you think that the content of the trainings is appropriate for digital transformation of urban infrastructure assets? (Trainings in the areas of professional development and not only introduction to functionality software like MS Project)	37% of those who answered "yes" to question 8 think that the content of the training is appropriate. However, despite the ownership of the content, 54% of respondents believe that not enough employees have access to it.

To be continued

Table 5.3 – Results of the analysis of survey responses (suite)

Category and Subcategory		Question	Results
Process / Practice / Management	Training	8.b / If yes, do you think that the number of employees who have access to these trainings is sufficient for the implementation of digital transformation of urban infrastructure assets?	60% of respondents do not consider that employees have access to training to become familiar with digital transformation.
	Collaboration	9/ In your municipality, are there teams that use interdisciplinary collaborative approaches (e.g. LEAN Management, PCI)?	50% of respondents say that teams use interdisciplinary approaches in the municipality. Among the approaches cited, LEAN Management was in first place, mentioned by 42% of respondents, followed by PPI/PCI for 13% of respondents, and continuous improvement for 8%.
Organization / Structure / Culture	Human resources capacity and organization	12/ Does your municipality have a sufficient number of competent staff in the field of digital transformation?	The majority of respondents (80%) consider that there are not enough competent employees in the field.
	Structural and organizational change management	11/ In your municipality, is there a management plan for resource development in the area of digital transformation of urban infrastructure assets? (e.g. employment, promotion, reward, etc.)	Only 7% of respondents say that their municipality has a resource development management plan in place for digital transformation.
		13/ Does your municipality have a list of the skills needed to effectively advance digital transformation of urban infrastructure assets?	80% of the respondents (99 people), say that their municipality does not have a list of skills to move forward in digital transformation.
		15/ Is a change planning adapted and concretely put into action (including identification of functional and technical needs) for the digital transformation of urban infrastructure assets?	There is no planning for change for 65% of respondents. Cities do not identify their needs regarding the digital shift.
Policy / Standards / Regulations / Laws / Contracts	Guides and guidelines	16/ Has your municipality developed its own guides to support digital transformation of urban infrastructure assets? (e.g., BIM deployment guide, e-permit delivery guide, GIS user manual).	72% of respondents said that their municipality does not have a guide supporting digital transformation.
	Contracts	17/ Has your municipality revised its bidding criteria, contract clauses including intellectual property (IP), property rights to harmonize with digital transformation of urban infrastructure assets projects?	The tender criteria have not been revised for nearly 67% of respondents; 25% are not sure that this has been done.
Policy / Standards	Norms and standards	18/ Does your municipality use its own norms and standards or does it rely on established national or international norms (e.g. ANSI, BS, AS or ISO)	63% of respondents say that municipalities do not use their own norms and standards or national and international standards.

To be continued

Table 5.3 – Results of the analysis of survey responses (suite)

Category and Subcategory		Question	Results
People / Community /	Citizen involvement	20/ Is the digital transformation vision of your municipality’s urban infrastructure assets and the value they generate communicated to citizens?	Only 1% of respondents consider that the vision of the digital transformation is communicated to citizens. 73% say it is not and 23% are not sure.
	External collaboration	21/ Does your municipality belong to a group that works on the digital transformation of urban infrastructure assets?	57% of respondents say that their municipality is not part of a group working on digital transformation.
Technology/ Information Ecosy	Systemic technology watch	24/ Does your municipality have a systemic technology watch?	54% of respondents say that their municipality does not have a systemic technology watch.
	Dedicated data management team	25/ In your municipality, is there a team that ensures the sharing of data on the built environment between departments?	67% of respondents say that there is no team in place to oversee data sharing.

The first observation is the high rate of negative responses across all categories. The second highest response rate was “Not sure”. These responses tend more towards the negative according to the majority of respondents (interview section) who said, “We didn’t want to answer ‘no’ to all the questions.” However, one exception was noted: response 3 is positive because the strategic plan is reflected in actions when present.

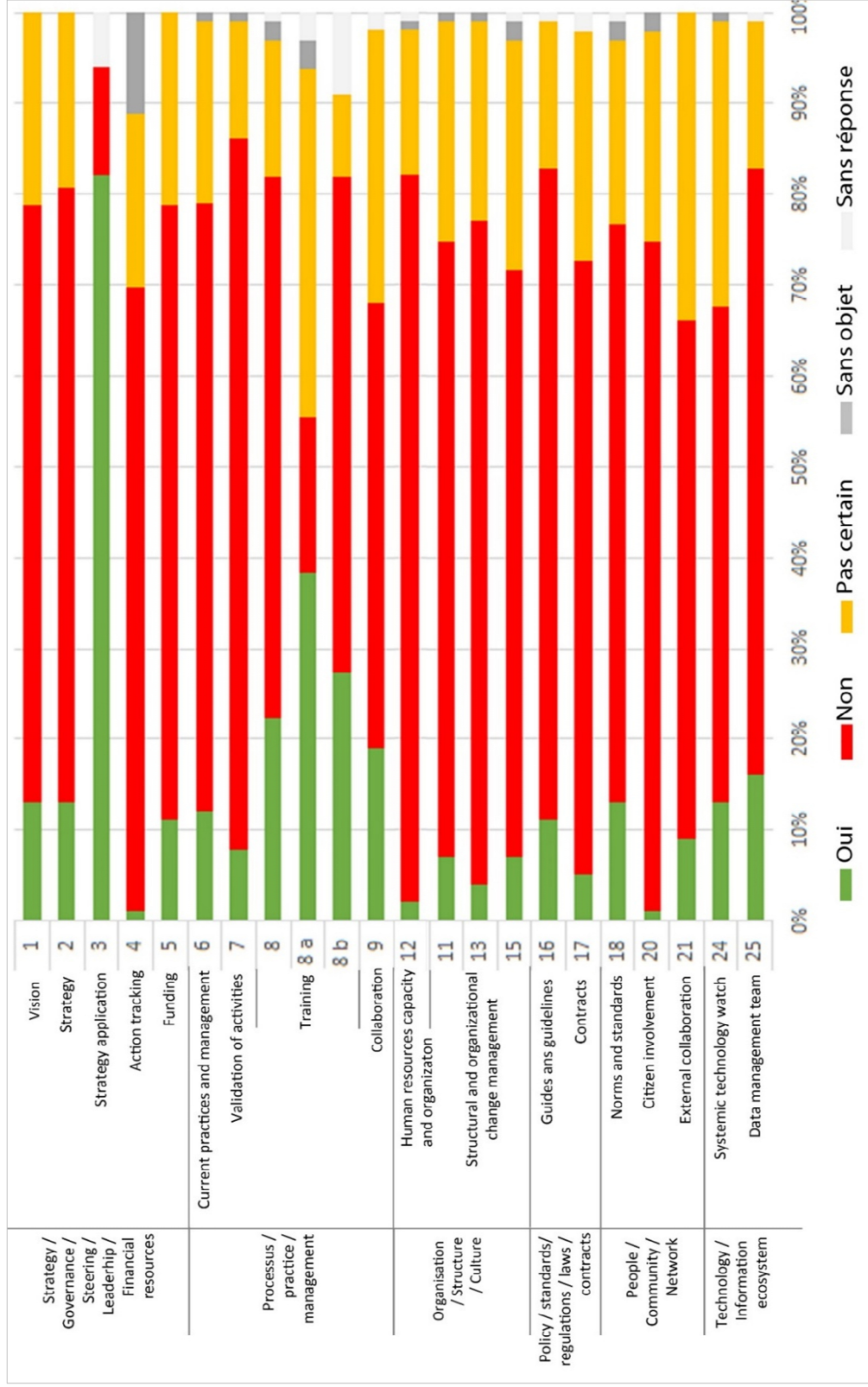
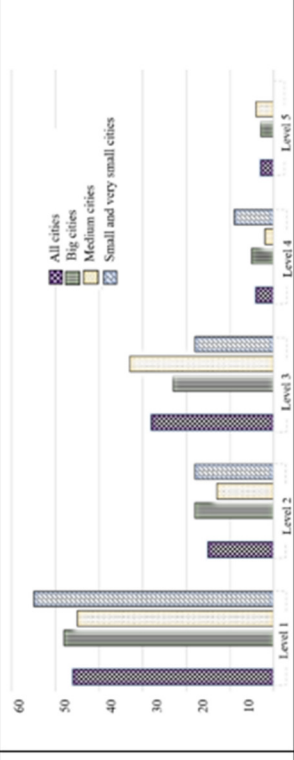
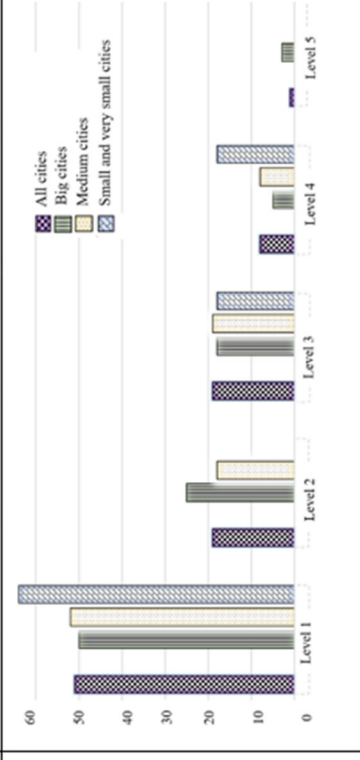
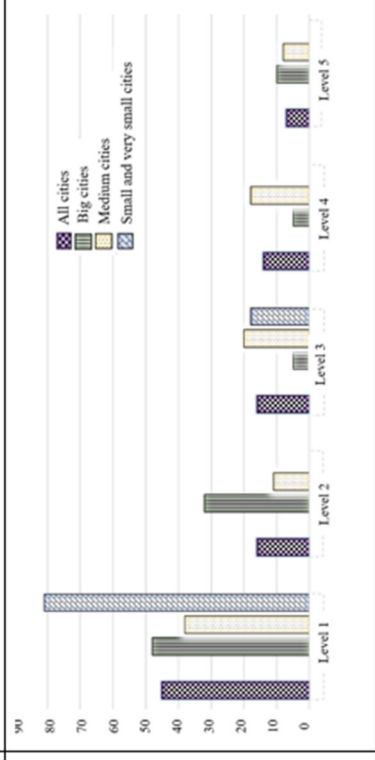


Figure 5.2 Compilation of survey responses (all municipality sizes)

Tableau 5.4 Results of the analysis of survey responses 10 and 22

<p>Process / Practice / Management</p>	<p>Question 10 / Are any of the following concepts used (at least one service or activity that advances this concept) in your municipality?</p> <p>More than half of the respondents considered the digital city concept as the most used in municipalities. 61% of respondents associated their municipality with one concept, and one in two associated their municipality with several concepts.</p> <p>To better understand the logic behind these responses, during the interviews, respondents were asked for their definition of smart city and digital city, as it was found that their definition was either limited or incomplete compared to the definition in the literature.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Concept</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Digital City</td> <td>53%</td> </tr> <tr> <td>Smart city</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Open municipal government (open data)</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>Government in the digital age</td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td>E - Government</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>Next generation city</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table>	Concept	Percentage	Digital City	53%	Smart city	20%	Open municipal government (open data)	11%	Government in the digital age	6%	E - Government	5%	Next generation city	5%																		
Concept	Percentage																																	
Digital City	53%																																	
Smart city	20%																																	
Open municipal government (open data)	11%																																	
Government in the digital age	6%																																	
E - Government	5%																																	
Next generation city	5%																																	
<p>Technology/ Digital/Information Economy</p>	<p>Question 22/ Please indicate the technologies most used by employees involved in the delivery and management of IAUs in the municipality.</p> <p>Autocad and GIS are the most used technologies, with about 15% of responses each, followed by 11.2% for the query and complaint management system.</p> <p>The latest technologies used for BIM, CIM, 3D modeling, etc. are almost not used in municipalities.</p> <p>To better understand this distribution of responses, it was necessary to ask respondents in the interviews: why? Here is the range of answers: not seeing the usefulness; not knowing the benefit; not knowing the tools; or “employees prefer to work as usual and don’t like change, it’s easier and faster”. So, according to them, the current workload is enough, they do not want to be burdened with new learning, etc.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Technology</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Autocad Drawing</td> <td>15,6%</td> </tr> <tr> <td>Geographic Information System (GIS)</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Request / complaint management system</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>Laptop Permit management system</td> <td>8 %</td> </tr> <tr> <td>Tablet</td> <td>7 %</td> </tr> <tr> <td>Financial systems / payroll / taxation Expert system / modeling</td> <td>5 %</td> </tr> <tr> <td>Maintenance management system</td> <td>4 %</td> </tr> <tr> <td>Asset renewal planning system</td> <td>4 %</td> </tr> <tr> <td>E - permitting</td> <td>2,3%</td> </tr> <tr> <td>Digital collaboration tools</td> <td>1,81%</td> </tr> <tr> <td>3D modeling</td> <td>0,82%</td> </tr> <tr> <td>Building Information Modding (BIM)</td> <td>0,33%</td> </tr> <tr> <td>Laser scanning</td> <td>0,16%</td> </tr> <tr> <td>City / Civil Information Modeling (CIM) IoT (Internet of things) on the site AI / Machine Learning</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Augmented reality Municipal digital twin 3D printing Big data / predictive analysis</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	Technology	Percentage	Autocad Drawing	15,6%	Geographic Information System (GIS)	15%	Request / complaint management system	11%	Laptop Permit management system	8 %	Tablet	7 %	Financial systems / payroll / taxation Expert system / modeling	5 %	Maintenance management system	4 %	Asset renewal planning system	4 %	E - permitting	2,3%	Digital collaboration tools	1,81%	3D modeling	0,82%	Building Information Modding (BIM)	0,33%	Laser scanning	0,16%	City / Civil Information Modeling (CIM) IoT (Internet of things) on the site AI / Machine Learning	0%	Augmented reality Municipal digital twin 3D printing Big data / predictive analysis	0%
Technology	Percentage																																	
Autocad Drawing	15,6%																																	
Geographic Information System (GIS)	15%																																	
Request / complaint management system	11%																																	
Laptop Permit management system	8 %																																	
Tablet	7 %																																	
Financial systems / payroll / taxation Expert system / modeling	5 %																																	
Maintenance management system	4 %																																	
Asset renewal planning system	4 %																																	
E - permitting	2,3%																																	
Digital collaboration tools	1,81%																																	
3D modeling	0,82%																																	
Building Information Modding (BIM)	0,33%																																	
Laser scanning	0,16%																																	
City / Civil Information Modeling (CIM) IoT (Internet of things) on the site AI / Machine Learning	0%																																	
Augmented reality Municipal digital twin 3D printing Big data / predictive analysis	0%																																	

Tableau 5.5 Results of the analysis of survey responses 14, 19 and 23

<p>Organization / Structure / Culture</p>	<p>Structural and/or Organizational change</p>	<p>Question 14/ On a scale of 1 to 5, what is the level of support for the digital transformation change projects of the urban infrastructure perceived within your municipality? (1 = no support, 5 = full support).</p> <p>Across all municipalities (of all sizes), almost half of the respondents consider that there is no support for digital transformation projects. Only 3% responded that there was full support. Regardless of municipality size, the response rate is similar for each level of support.</p>	
<p>People / Community / Network</p>	<p>Resistance to change</p>	<p>Question 19/ On a scale of 1 to 5, at what level do elected officials show leadership and support for the digital transformation of urban infrastructure assets? (1 = no support, 5 = ongoing support).</p> <p>In all municipalities (all sizes), more than half consider that elected officials do not support digital transformation, and only 1% speak of continuous support. For large and medium-sized municipalities, the response rate for levels 1 to 3 is close. For small and very small municipalities, the response rate for the rest of the levels is slightly different.</p>	
<p>Digital/Information ecosystem</p>	<p>Existing Information systems</p>	<p>Question 23/ On a scale of 1 to 5, how supportive is the Information Technology (IT) department of the digital transformation of urban infrastructure assets (1 = no support, 5 = ongoing support).</p> <p>Across all municipalities (regardless of size), almost half of the participants consider the IT department to be unsupportive of the DT. The majority (>85%) of large municipalities, as well as small and very small municipalities think that the IT department does not support the digital transformation enough. But there is an exception for medium-sized municipalities where 26% of respondents think that IT provides regular or continuous support.</p>	

5.4.1.3 Results of the analysis by municipality size

The survey data was reanalyzed to account for the size of the municipality, as this factor, a municipality's size, was frequently mentioned during the interviews. Figure 3 summarizes the responses from this re-analysis.

When the same response is compared across scales, there is little difference for the majority of responses. Nevertheless, question 25 (on the presence of a team to manage and share data) is mostly negative for small municipalities. However, three responses to questions 3, 8a and 8b concerning small municipalities were positive, namely, respectively: whether the strategic plan is reflected in the municipality's activities; whether the content of training is appropriate; and whether the number of people trained is sufficient. These answers differ from one municipality size to another, and this is understandable, as the smaller the municipality, the smaller the number of employees and therefore, in theory, the easier to manage.

When the set of responses analyzed by municipality size is compared to the set of responses analyzed for all sizes combined, the number of negative responses dominate in both Figure 5.2 and Figure 5.3. Thus, there is little difference between the responses, which leads to the conclusion that municipality size does not have a significant impact on the digital transformation of municipal urban infrastructure assets lifecycle practices.

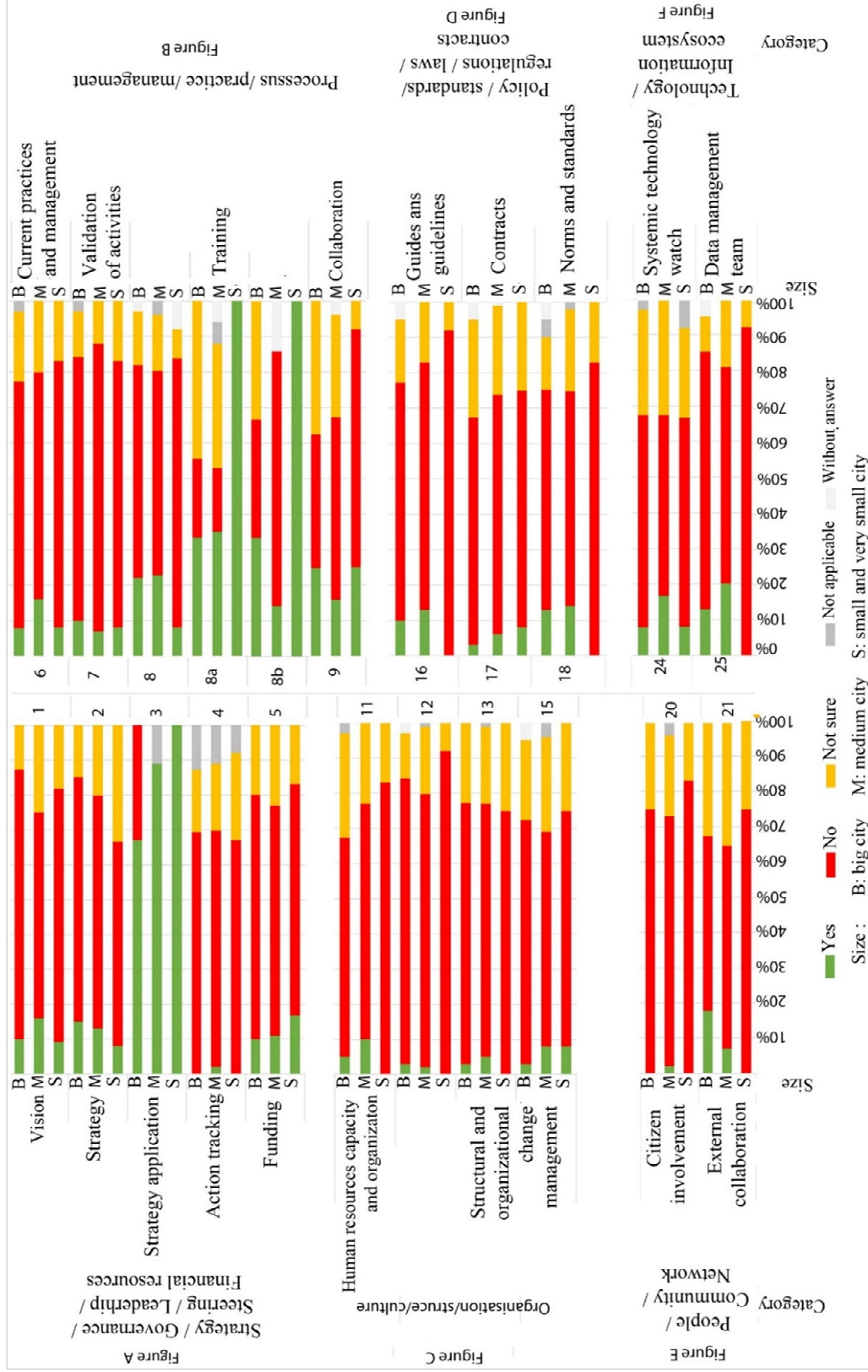


Figure 5.3 Compilation of survey responses analyzed by municipality size

5.4.2 Interviews

5.4.2.1 Interview respondent profiles

Some 22 semi-structured interviews were conducted with 24 respondents working in 13 municipalities of different sizes from across the Province of Quebec. The interviewees worked in different departments, for example: public works, urban planning, engineering, environment, information technology, general management, etc. Table 5.6 presents the profiles of the interview respondents.

Tableau 5.6 Interview respondent profiles

No. of respondents / city size			No. respondents / sex			No. respondents / age			No. respondents / year of experience			No. Interviews	
Size	No.	%	Sex	No.	%	age / year	No.	%	year experien	No.	%	interviews	No.
Big	5	38,46	Man	16	66,66	20-30	4	16,66	< 5 ans	4	16,66	Individual	20
Medium	6	46,15				30-40	10	41,66	5/10 ans	6	25		
Small & very small	2	15,38	Women	8	33,33	40-50	7	29,16	10/20 ans	8	33,33	in pairs	2
Total	13	100	Total	24	100	50-60	3	12,5	> 20 ans	6	25	Total	22

5.4.2.2 Lexical coding results

The lexical analysis with Nvivo generated Figure 5.4 which represents the words most cited by interview respondents. Word size increases with the number of occurrences. This highlights the barriers and challenges of the digital transformation of urban infrastructure assets (second objective of the interviews) and contains the components of the initial framework (the general objective of the interviews).



Figure 5.4 Result of the lexical analysis of the interview transcripts

5.4.2.3 Results of coding by interview questions

- **Strategy / Governance / Steering / Leadership**

Question 1: Please explain in your words the extent and current state of digital transformation in your municipality concerning its urban infrastructure assets?

The majority of respondents have a limited understanding and vision of digital transformation for municipal urban infrastructure assets and/or do not see the benefits. Indeed, almost the majority of respondents (18 out of 24) see digital transformation only as the digitization of data.

Respondents mentioned the digitization of data or certain asset management activities, but none mentioned the term “transformation” as a major change or planning in current practices. Therefore, this is an important issue and so there needs to be a clear definition and agreement on what digital transformation is for municipalities before steps are taken to achieve it. Here are some definitions given by the respondents:

“ digital transformation is the act of transposing paper data into digital or computerized data.”

“Have digital databases of municipal urban infrastructure assets. Try as much as possible to digitize the data as a database, so it’s more easily manipulated.”

“Having a tool that allows us to go and get all the ‘live’ information there, really live, there, that’s my definition.”

“I’ll be honest, I manage a large department but I’m not very “technological”. This element brings an additional management to implement the system which can be quite complex. I understand that afterwards it makes management easier, but I don’t have anything concrete to show us how it will make day-to-day management easier.”

However, the implementation of a digital transformation strategy is not an end in itself. Although 8 respondents said that digital transformation is a necessity, whether planned or done in an ad hoc fashion, respondents agreed that it was inevitable:

“I’m sure it’s coming. It’s an obvious move. Except they don’t know how to do it.”

“All our archival systems are taking the whole paper vault and putting it in digital.”

“At the governance level, the strategy is not well defined because it is not a priority for the municipality’s leadership.”

However, two municipalities in Quebec (large and medium) have already begun the digital transformation of their urban infrastructure assets in a more or less structured manner. Compared to other municipalities, they stand out, and it seems clear that their level of maturity is quite advanced. The following is an excerpt from an interview conducted with a pair of respondents, one of whom is the IT Director and the other the Director of Asset Management in the Geomatics department.

“The objective in relation to digital transformation is to digitize the information that the municipality has on its assets and centralize it for use in databases. To structure the information and to be able to retrieve functions, replacement values or life cycle times to be able to plan in future investments.”

“Information management is important for further automation (urban lighting, citizen services, traffic control, etc.). The goal is to modulate and measure the service provided.”

- **Policy / Standards / Regulations / Laws / Contracts**

Question 2: In what ways has your municipality changed its regulations, policies, or contractual documents to facilitate digital implementation?

“Nothing has been done to date – it’s not a priority,” said one respondent from a large municipality, which sums up the general thinking. There are no changes, and when there are changes, they are minimal. The other statements confirm this:

“No. We’re not there yet.”

“At present, we have no policy for conversion to digital. We have nothing.”

“On the digital implementation side there is nothing that has been done yet.”

“I think we’re still far, far, far, far away. It’s all about organization and purpose.”

Some 80% of the responses from large municipalities and 67% from medium-sized municipalities state that nothing is in place regarding digital transformation in terms of regulations and contracts. There is a need to revise policies, regulations, and contracts to enable the different sectors of the organization to move forward with their digital transformation.

“Currently, building permit application plans are submitted in paper form. After they are received at the city, they are sent to a company that does document scanning and then we receive it on disks or a flash drive. We can’t simply ask citizens to file it digitized because we don’t have the right. We have to change the regulations on permits and certificates to require that it be written in. We want to have a digital copy, right now it says 2 copies, we need to change that regulation.”

There is no structure in place, it is not a priority according to the respondents. However, a will to change is coming from employees and citizens (also known as a bottom-up or grass-roots approach). None of the municipalities participating in the survey have specific policies or regulations in place to facilitate implementation of digital practices.

“This change is not happening through a request from the board but is happening through employee initiative. So there are no processes or policies that drive the digital transition.”

“It’s the citizens’ demand to be faster and to know the data better but for the moment nothing legal. No regulation but a political wish.”

“It would be a political thing because it would be the Council that’s going to have to approve those kinds of changes there, those requirements there. Because they have to be written into the bylaw.”

According to 40% of respondents, the data format is specified and imposed in contracts. However, only five respondents mentioned the need to change regulations to facilitate digital implementation.

- **Process / Practice / Management**

Question 3: Please explain how processes / practices / management have been transformed through digital tools and technologies, if applicable?

The data from the interviews highlight the fact that processes and practices have not been transformed. Some 33% of responses indicate that nothing has yet been done, and this is more evident in large municipalities as it represents 50% of responses. The responses are more nuanced for medium-sized municipalities, with 41% of responses saying nothing is being done, and 33% for which digital transformation is said to be in progress.

“Processes are being adapted even though most practices are still paper based.”

“Processes are going to be developed in the next few years in asset management but for now there is nothing concrete.”

Although there is little or no change in processes and practices, the pandemic has been an accelerator of the digital transition within municipalities. Indeed, 17% of respondents identify the pandemic and the shift to remote working as an accelerator of the transition.

“With COVID, we have made it possible to have more certificates and authorizations for construction permits available online for applications. Citizens can now do it directly from their

homes on the Internet and we receive the digital documents they file when they make their request. It makes it easier, it reduces the traffic at the department.”

“In terms of management, it is more telework that has changed management. We’ve gone virtual and that’s required a lot of adaptation for our managers.”

However, 12.5% of the responses indicate that practices and processes are being changed for the implementation of digital either voluntarily or randomly by the city.

“The city starts with the processes and then the software implementation follows. The development is done in-house which helps propel management to integrate asset management into the process.”

- **Organization / Structure / Culture**

Question 4: Does your municipality have a specific structure in place to support digital transformation?

The answer to this question is overwhelmingly “no”. The most frequent answer (54%) is that it is not something that is being thought of at the moment. The proportion of this answer is 40% in large municipalities, 66% in medium-sized municipalities and 100% in small and very small municipalities. The establishment of a specific structure is underway in some municipalities, representing 20% of responses for large municipalities and 33% of responses for medium-sized municipalities.

“No there is no structure, that’s the problem.”

“No, it’s really all individual initiatives. Everyone does a little bit of initiatives like I do, I do like public works did to give way, to improve their management, but there’s nothing that federates the whole.”

“Maybe there’s something coming, but to my knowledge, at our level, there’s nothing. For the last 10 years we’ve been hearing: we’re going to do it.”

No municipality has a structure in place to support digital transformation. At best, establishing a structure is under consideration, but there is little concrete action. There is no structure in place, and it is still too distant a goal for the municipalities interviewed.

- **People / Community / Network**

Question 5: What is the impact of digital transformation of urban infrastructure assets on employees? And the services offered to citizens?

Some 75% of respondents see a positive impact of digital transformation on their municipality. However, the interviews did reveal some resistance or obstacles. These include resistance to change due to advancing age, lack of staff and lack of expertise. And 58% of respondents identify lack of staff as an important reason holding back digital transformation; this represents 30% of respondents from large municipalities, 75% from medium municipalities and 100% from small and very small municipalities. Here are some excerpts from the interviews:

“Some people are a bit lost, it stresses them out, especially people who are close to retirement. They didn’t know what a computer was. There are many of them. I have a few colleagues who have rushed into retirement because there are too many changes. It stresses them out, they are used to writing on a piece of paper, it’s not their business. There are many who are starting to think about retirement because of this.”

“Small towns are not able to have their own staff. We can’t afford to pay them for five days, but we don’t have any work to give them for five days anyway.”

“The lack of manpower. We digitize but what do we do with it? How do we manage it afterwards?”

- **Technology / Digital – Information Ecosystem**

Question 6: How has digital transformation of urban infrastructure assets impacted the municipality’s digital ecosystem?

A 20% of respondents think that digital transformation has had a positive impact. This represents 20% of responses from large municipalities and 40% from medium-sized municipalities.

“These are still relatively small municipalities, but I think that at the municipal level it would be an added value to have all the information digitized.”

A quarter of respondents say that digital transformation is neglected or not deployed in a structured way due to a lack of implementation expertise.

“There aren’t many vendors, and I’m very concerned about our dependence on IT vendors. We’re stuck with one vendor’s technology for a long contract.”

“It makes us more efficient, I really believe that, but my fear is also that it can make us vulnerable. I have a fear in terms of the vulnerability of organizations, whether it’s a municipality or whatever.”

5.4.2.4 Coding results by Framework Category

Table 5.7 shows the categorization and count of coded instances organized per the theoretical framework. Subcategories with too low a percentage were assigned to “Extrant” and could be removed from the framework. “Intrants” are subcategories that were frequently mentioned in the interviews and were not included in the original framework.

Tableau 5.7 Occurrence of Barriers from Interviews by the theoretical framework

Categories and subcategories	No. of references	% of responses
Strategy / Governance / steering / leadership / Financial resources	48	9%
Lack of guidance and/or leadership	2	0%
Lack of a strategic plan	16	3%
Unmanaged external pressure	6	1%
Lack of governance	9	2%
Lack of support from senior management	0	0%
Funding issues	15	3%
Process / practice / management	151	29%
Lack of collaboration	25	5%
Absence of data management	90	18%
Misalignment of current practices and management	36	7%
Organization / Structure / Culture	42	8%
Absence of organizational change management	13	3%
Lack of communication	8	2%
Lack of training	15	3%
Non-conducive organizational culture	6	1%
Policy / standards / regulations / laws / contracts	36	7%
Inadequate policy and support from elected officials	8	1%
Lack or incompatible standards / contracts	12	2%
Incompatible laws and regulations	16	3%
People / Community / Network	95	18%
Limited vision	37	7%
Resistance to change	22	4%
Lack of human resources	35	7%
Perceptions from the citizens	1	0%
Digital / Information Ecosystem	57	11%
Inadequate technologies and tools	6	1%
Incompatibility and/or inadequacy of existing information systems	51	10%
Intrants	85	16%
Maturity level / Lack of internal expertise	31	6%
Asset management / valuable creation	11	2%
Rhythm / long term / life cycle	34	6%
Terminology	9	2%
Total général	514	100%

As shown, analysis and categorization of the coded responses from the interviews indicate that the most frequently mentioned consideration is “data management”. The second consideration is “existing information systems”. The third consideration is “limited vision”.

The fourth is “compatibility of current practices”. Finally, the last important consideration is “availability of human resources”.

Asset management, as a process, is not well known or mature enough in Quebec municipalities. Moreover, among the respondents, those who think they are familiar with it focus on asset management at the operational level.

“Everything is to be done, people mix up asset management and project management. Initiatives are only taken if direction comes from above.”

In addition, the notion of time came up very often, with more than half of the interviewees referring to it. The pace and length of initiatives related to digital transformation of urban infrastructure assets demotivates municipal employees. Digital transformation of urban infrastructure assets is a project that generates its benefits in the long term, whereas most managers are focused on concrete results in the short term.

Terminology is also an issue with the specific language of the municipal environment, employees must agree on the same definitions and names of assets and processes.

5.4.2.5 Sentiment analysis

Sentiment analysis reveals several elements pertaining to digital transformation of urban infrastructure assets within municipalities. The number of positive and negative feelings is very close, 41% and 49% respectively. Negative feelings include fear, frustration, misunderstanding, anger, and reluctance. Positive feelings include joy, hope, motivation, and desire.

Q1 on the definition and vision of digital transformation elicits contrasting reactions between hope and incomprehension. For instance, a respondent indicated that:

“Be able to look up all the information live there. Cool! It’s ideal but hard to pinpoint what’s really important in the face of total disarray in our business units.”

Q2 on changing the regulations, as well as Q4 on setting up a digital transformation support structure, provoked much more negative reactions that tended towards frustration and anger.

There is a meeting point of feelings in Q3 where respondents express opposite emotions. On the one hand, there is satisfaction with the acceleration of digital transformation generated by the pandemic. On the other hand, there was dissatisfaction, as processes and practices were slightly transformed. Moreover, digital transformation is done in a random, unstructured and unfederated way by the municipality.

Q5, on the impact of digital transformation on employees and citizens, elicits many mixed responses, seemingly dominated by age-related fear.

“There are colleagues who are lost, it stresses them out, especially those close to retirement. I have a few colleagues who have rushed into retirement because they are afraid.”

However, upon reflection and discussion with the respondents, most of these negative emotions are not a form of resistance to change. They have more to do with dissatisfaction with the current situation because it is not being addressed:

“...especially, it’s not their role at all, and worse, nobody’s role.”

Therefore, it is a form of municipal employee protest that can really push towards positive change.

5.4.3 Responses to Survey and Interview Objectives

The responses to the survey and interview objectives are summarized in Table 5.8.

Tableau 5.8 Responses to Survey and Interview Objectives

Survey objectives	Responses to the objectives
To provide an overall picture of digital transformation efforts for urban infrastructure assets in the Canadian municipal environment.	Few efforts are made, it is not a problem of resistance to change but mainly a lack of knowledge of the process to follow and its benefits. None of the 44 municipalities surveyed in Quebec, regardless of size, have undertaken digital transformation of urban infrastructure assets in a systemic and structured manner. The level of maturity of urban infrastructure assets management and the level of maturity of digital transformation do not seem to be advanced enough in these municipalities.
Identify the barriers and challenges of DT (buildings + urban infrastructure) faced by Canadian municipalities.	The barriers categorized in the framework are all confirmed and accentuated.
Understand the organizational structure in place and whether there are any initiatives taken or thought of to drive organizational change.	No organizational structure is put in place. A few separate initiatives are undertaken such as the digitization of data. These initiatives are undertaken as pieces of a puzzle scattered in different departments of the municipality with no structure to bring it all together.
Understand the scope of digital transformation's strategy for urban infrastructure assets in the municipality and identify gaps and impact on the following:	No strategic plan of digital transformation, no strategy is undertaken or planned, therefore no impact is identified.
- regulations, policies, and contracts	No review, so impossible to identify.
- current processes and practices	No adopters, so impossible to identify.
- human resources	A glaring lack of human resources in the field. No initiative is undertaken to train, develop internal skills, or to undertake a recruitment plan.
- the municipality's digital ecosystem	It is based on the needs of each department and is considered outdated or obsolete by respondents. There are also problems with the interoperability of tools, and those that exist do not keep up with the evolution of technology.

5.5 Discussion

As shown throughout the paper, the preliminary framework developed in Manuscript Part I served to structure and guide research activities aimed at operationalizing, validating and, when applicable, extending it. In large part, the results from both the survey and interviews confirm and validate the categories developed in the preliminary framework. However, in an effort to extend and make the framework more applicable, category and sub-category titles, which were originally developed as barriers and challenges, were changed using more neutral terms in the final framework. For example, “lack of guidance” is replaced by “Guidance and coordination”. Also, some categories were moved and reorganized. Some elements were removed while others were added based on the research process. Table 5.9 presents the mapping between the initial and final framework.

Tableau 5.9 Validation and extension of the framework

	Initial framework (Table 1)	Final framework (Table 10)	
1	Strategy / Governance / steering / leadership / Financial resources 1. Lack of guidance and/or leadership 2. Lack of a strategic plan 3. Unmanaged external pressure 4. Lack of governance X 5. Lack of support from senior management X 6. Funding issues	Strategy / Governance / steering Systemic vision .1 Strategic plan .2 Funding .3 Steering and coordination .4 External pressure .5	✓ Intranet X Extranet
2	Process / practice / management 7. Lack of collaboration 8. Absence of data management 9. Misalignment of current practices and management	Process/Practice/Management/Organization/Structure/Culture Collaboration .1 Current practices and management .2 Structural and organizational change management .3 Communication .4 Training .5 Organizational culture .6	
3	Organization / Structure / Culture 10. Absence of organizational change management 11. Lack of communication 12. Lack of training 13. Organizational culture	Data management ✓ Quantity and storage .7 ✓ Ownership and accessibility .8 ✓ Reliability and updating .9 ✓ Security and control .10 ✓ Format and share .11	
4	Policy / standards / regulations / laws / contracts 14. Inadequate policy and support from elected officials 15. Incompatible standards / contracts 16. Incompatible laws and regulations	Policy /standards/regulations/laws/contracts Politics and support of elected officials .12 Standards/contracts .13 Laws and regulations .14 ✓ Guides and Guidelines .15 ✓ Terminology .16	
5	People / Community / Network 17. Limited vision 18. Resistance to change 19. Lack of human resources 20. Perceptions from the citizens X	People/community/network Leader/Champion .17 Resistance to change .18 Human resources .19	
6	Digital / Information Ecosystem 21. Technologies and tools 22. Existing information systems	Technology / Digital / Informational Ecosystem Existing technology and tools .20 New technologies and collaborative tools .21	

The encoding of subcategories 1, 4 and 5 (Table 5.9) is not clear enough because of the proximity of meaning. In addition, these sub-categories had very low representation in the analysis of the results from the workshops and interviews. Therefore, it was decided to combine them into one subcategory, “Guidance and coordination”. The leadership portion of subcategory 1 refers to a trait and was moved to category 5 by adding the term “champion”. This trait is already observed in some leaders who are seen to drive municipal innovation. All of the analytical methods used identified subcategory 8: “Data Management” as a key issue in the digital transformation of urban infrastructure assets in Quebec municipalities. However, as this is an ever-evolving field, the stakes of digital assets continuously grow as sources of data grow and reliance upon them becomes more and more important. New considerations also emerge, namely the evolution of technologies and the context, especially in the post-COVID period. The world is now facing massive digitization, especially with respect to asset data. To this end, some respondents expressed that the pandemic has accelerated some of the digital transformation processes in their municipality. Most of the feedback relating to this aspect relates to collaboration tools and the ability to work remotely, which has allowed the use of digital technologies to grow within municipalities. Furthermore, data management includes many aspects that cover a broad number of domains. As such, it was introduced as a category of its own.

Categories 2 (Process / Practice / Management) and 3 (Organization / Structure / Culture) are merged, but sub-categories 7 (Collaboration) and 11 (Communication), although close in meaning, were not merged. Still, the following clarifications should be noted: Collaboration is the action of working with someone to accomplish a certain task or benefit each other, through cooperation, alliance, association, etc. Communication means the exchange of information, feelings, etc., transmitted by speech, writing, gestures, etc. Communication may or may not be beneficial, but collaboration has benefits or expectations.

The subcategory 17 "limited vision" became "systemic vision". In fact, the analyses revealed that the systemic vision of digital transformation of municipalities is not developed or well

thought out. In addition, its location in the preliminary framework is not appropriate for category 5, so it has been moved to category 1. Finally, subcategory 22 has been renamed “new technologies and collaborative tools”.

It is necessary to explain the difference between sub-category 12 “training” and the input “internal expertise/maturity level”. Although lack of expertise is related to lack of training in some respects, it is better to include lack of expertise as a new, distinct sub-category.

The need for “guidance and guidelines” is an emerging input especially at the survey level, so, its importance is paramount. “Terminology” is also an emerging input, but at the interview level. The need to create a lexicon and agree on a common vocabulary is paramount for all parties to understand each other and for the digital transformation of urban infrastructure assets to be successful. These two inputs are added as sub-categories under the category of “policies/standards/regulations/legislation/contracts”.

The input “rhythm/long-term/life cycle” refers to the notion of time, which came up very often in the interviews and workshops. Respondents pointed out that the pace of public administration is very slow, in addition to all the hierarchical procedures. They also believe that it is difficult to sustain digital transformation, being a long-term project throughout the life cycle of the asset. Therefore, it is not possible to incorporate this input into the framework, but it is clearly an issue to be considered and addressed in action planning.

After analysis, the “conviction of citizens” was reconsidered and removed because its score is zero in various analyses. Previously considered as obstacles to digital transformation, citizens are, on the contrary, important elements in the change and the transition to digital. In most of the municipalities studied, it was found that the change was brought about by a desire on the part of the citizens.

From this analysis and subsequent reconfiguration emerged a final framework that is presented in Table 5.10.

Tableau 5.10 Digital Transformation Framework supporting the planning, delivery, use and management of Municipal Urban Infrastructure Assets

Category and Subcategory		Proposed actions/solutions/guidelines	Results
Strategy / Governance / Steering	Systemic vision	<ul style="list-style-type: none"> • Develop a common vision of digital transformation of urban infrastructure assets and promote this vision to all levels and departments of the municipality. 	A shared and communicated vision.
	Strategic plan	<ul style="list-style-type: none"> • Verify the existence of actions supporting DT of urban infrastructure assets in existing strategic plans. 	A clear strategy and action plan well undertaken, monitored and rigorously followed.
	Financing	<ul style="list-style-type: none"> • Design an implementation strategy for digital transformation of urban infrastructure assets. • Define the activities (actions) of the strategy. • Schedule these activities over time. 	
	Steering and coordination	<ul style="list-style-type: none"> • Implement activities (actions) of the strategy. • Develop a strategic plan or adapt and enrich the one related to DT of urban infrastructure assets. • Follow-up of actions. 	
	External pressure	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluate the performance (accountability) of the activities of this Strategic Plan for digital transformation of urban infrastructure assets. • Include funding for digital transformation of urban infrastructure assets in the Three-Year Capital Program during project portfolio planning. • Seek and provide for various sources of funding. 	
Process / Practice / Management / Organization / Structure / Culture	Collaboration	<ul style="list-style-type: none"> • Review current processes/practices and identify what reinforces siloed work. • Identify and re-implement existing interdisciplinary collaborative approaches in the municipality (e.g., LEAN Management, PCI). • Establish and incorporate interdisciplinary collaborative approaches. 	Harmonized practices, processes and management areas with an efficient flow of information allowing employees to generate maximum value for the citizen.
	Current practices and management	<ul style="list-style-type: none"> • Join groups (e.g., committee, association) working on the digital transformation of urban infrastructure assets or related topics and develop strategic partnerships. • Define tasks and activities to initiate, execute and analyze digital transformation of urban infrastructure assets projects. 	
	Structural and organizational change management	<ul style="list-style-type: none"> • Circumscribe and define new roles and responsibilities supporting the implementation of digital transformation across the urban infrastructure assets life cycle. 	

To be continued

Table 5.10 – Digital Transformation Framework supporting the planning, delivery, use and management of Municipal Urban Infrastructure Assets (suite)

Category and Subcategory	Proposed actions/solutions/guidelines	Results
Process / Practice / Management / Organization / Structure / Culture	<ul style="list-style-type: none"> Establish a core team that validates all activities relating to digital transformation of urban infrastructure assets. 	Optimized approaches supported by a continuous improvement process: from planning, to implementation and maintenance, to life cycle maintenance. A framed, structured and organized change. An increase in competence and capacity to succeed in the digital transformation of urban infrastructure assets.
	<ul style="list-style-type: none"> Prepare criteria for measuring and monitoring performance, maturity, and organizational capacity. Plan the change and put it into implement concrete actions (including identification of functional and technical requirements) for the digital transformation of urban infrastructure assets. 	
	<ul style="list-style-type: none"> Develop a list of skills needed to effectively advance the digital transformation of urban infrastructure assets. Develop a successful communication strategy: develop a detailed communication plan, set up clear communication channels, develop an engaging message. 	
	<ul style="list-style-type: none"> Ensure continuous motivation and communication with stakeholders. Plan professional trainings to familiarize them stakeholders with the digital transformation of urban infrastructure assets. The content of the trainings should be appropriate to the digital transformation of urban infrastructure assets (trainings in the areas of professional development, not just introduction to software functionality). Ensure that a sufficient number of enough employees have access to these digital transformation of urban infrastructure assets implementation trainings. To develop recognized and certified training offers, covering all aspects of digital transformation, in conjunction with key players in the academic world. 	

To be continued

Table 5.10 – Digital Transformation Framework supporting the planning, delivery, use and management of Municipal Urban Infrastructure Assets (suite)

Category and Subcategory		Proposed actions/solutions/guidelines	Results
Data management	Quantity and storage	<ul style="list-style-type: none"> • Understand asset information management and differentiate it from document management. • Identify information management practices that are consistent with the urban infrastructure assets management. • Designate and/or train a dedicated data management team. • Learn about examples of digital models generated from a physical model and plan for the beneficial needs of the municipality’s assets. Develop the municipality’s own components. • Thoroughly study and implement an effective data management strategy including: the need for level of detail and quantity of data, its accessibility, reliability, security, format, updating, cost, etc. • Work in collaboration with the different departments of the municipality, the data requirements for better decision making. • Develop information requirements and uses. • Define roles and responsibilities for information management. • Put in place the necessary procedures and mechanisms to ensure data security. 	<p>Managed, reliable and up-to-date information, accessible with only the click of a button, secure, necessary for the assets built or to be built throughout their life cycle. Sustainability of information and assets. Effective management of construction projects, and sound management of digital transformation of urban infrastructure assets, digital assets and data as an asset.</p>
	Ownership and accessibility		
	Reliability and updating		
	Security and control		
	Format and sharing		

To be continued

Table 5.10 – Digital Transformation Framework supporting the planning, delivery, use and management of Municipal Urban Infrastructure Assets (suite)

Category and Subcategory		Proposed actions/solutions/guidelines	Results
Policy / Standards / Regulations / Laws / Contracts	Policy and support from elected officials	<ul style="list-style-type: none"> • Focus on the parameters that frame the various policies and directions for DT and GAIU both supporting the shared vision and implementation goals. • List the norms and standards used by the municipality, including established national or international standards (e.g., ANSI, BS, AS or ISO). 	<p>Clear and consistent policies governing the implementation of DT and regulations to facilitate its application across the industry.</p> <p>Clear and comprehensive contracts that facilitate the use of DT in collaborative ecosystems.</p> <p>Up-to-date, relevant guides, documents and standards that facilitate and support effective, quality work.</p>
	Standards / Contracts	<ul style="list-style-type: none"> • Develop guides and documents to support the application of the DT of urban infrastructure assets (e.g., a BIM deployment guide, an e-permit delivery guide, a GIS user manual). These guides and documents should take into consideration the specific context of the municipality and communicate best practices, techniques, and strategies. 	
	Guides and guidelines	<ul style="list-style-type: none"> • Identify and learn about standards covering information management and data creation for built assets (e.g., ISO55000 and ISO19650). 	
	Laws and regulations	<ul style="list-style-type: none"> • Adapt and adopt standards to facilitate asset management and asset information management. • Revise the City’s bidding criteria, contract clauses including intellectual property (IP), property rights to align with DT of urban infrastructure assets projects. • Develop contractual and financial mechanisms adapted to the new business models supported by the DT of urban infrastructure assets and clarify data ownership, insurance, and other issues. 	
	Terminology	<ul style="list-style-type: none"> • Develop a lexicon (standardize the language used) of municipal terms, especially those appropriate to the workforce. 	

To be continued

Table 5.10 – Digital Transformation Framework supporting the planning, delivery, use and management of Municipal Urban Infrastructure Assets (suite)

Category and Subcategory		Proposed actions/solutions/guidelines	Results
People / Community / Network	Leadership / Champion	<ul style="list-style-type: none"> Identify and empower leaders and champions for DT of urban infrastructure assets implementation while preparing the necessary resources to coordinate and develop DT of urban infrastructure assets activities. Develop strategic partnerships to exchange complementary skills and provide mutual support and motivation, (local, national, and international partnerships). Develop a network of professional relationships that benefit the municipality. Increase the municipality's skills in asset management and information management. This can be achieved by implementing a support plan with a holistic approach. Prepare a plan to increase human resource capacity in sufficient numbers (bank of experts). Develop a resource development management plan for DT of urban infrastructure assets (e.g., employment, promotion, reward, etc.). 	<p>Dedicated and competent actors leading DT and digital transformation of urban infrastructure assets.</p> <p>Resilient actors with a capacity for progressive adaptability.</p>
	Resistance to change		
	Human Resources		
Technology / Digital / Information	Existing technology and tools	<ul style="list-style-type: none"> Map existing technologies and identify needs and development paths to be prioritized. Develop a systemic technology-watch that allows for the integration of information throughout the urban infrastructure assets lifecycle (potentially affecting service quality). Establish requirements for the implementation of collaboration platform(s) based on open and neutral formats. Learn about “common data environments” and see the utility and applicability to the municipality. 	<p>A collaborative work environment supported by reliable technologies that allow employees to collaborate effectively, to deliver the best service in less time.</p>
	New technologies and collaborative tools		

5.6 Conclusion

This paper presents the results of the second stage of a longitudinal research project aimed at helping cities conduct a planned, and structured digital transformation. This digital transformation will lead to the integration of information sources and implementation of digital twins to better meet the needs of citizens and maintain the quality of service over the long term. The research presented in this paper provides further insight into the challenges municipalities face today with respect to the successful digital transformation of urban infrastructure assets. It provides a framework that outlines in a systemic way how to reduce and/or eliminate these barriers and challenges. The analyses revealed that data management is one of the key issues with DT. Moreover, the findings relate that digital transformation is not well defined and the systemic vision of digital transformation is not developed and thought through within municipalities. The analyses show that little is done to operate digital transformation in a structured and organized way to accommodate and support change.

The majority of the municipalities analyzed, regardless of size, do not understand the benefits of digital transformation. They remain relatively ignorant on the subject and their lack of knowledge leads to a lack of interest in digital transformation. All this leads to fragmented initiatives that hinder effective digital transformation. This lack of effort on the part of the municipalities generates a backlog and a lack of digital maturity that is becoming more and more urgent to overcome.

This study also highlights the critical lack of human resources, expertise, and appropriate training to support digital transformation, regardless of the size of the municipality.

In Canada, municipalities are under the jurisdiction of the provincial law. From the digital transformation perspective of municipalities, certain restrictive laws and regulations make certain decisions more complex. They must be revised and adapted. Urban sprawl, being a characteristic of the Canadian context, further increases the amount of IAU to be managed. It is therefore difficult to implement a systemic approach covering all IAUs, which justifies the

use of technologies, such as a digital information system (GIS) and digital twin (DM) for municipalities.

5.7 Limits

A first limitation of this research is the maturity level of digital transformation and asset management within the organizations studied. On the one hand, these two areas are emerging and on the other hand, the municipal/public sector underestimates digital transformation and is lagging in digital transformation and urban infrastructure assets management.

A second limitation of the interviews and workshops was that they were conducted remotely due to the context of COVID-19. This remoteness has its limitations, as the absence of a physical meeting sometimes prevents us from properly observing and considering the respondents' non-verbal language. This can lead to a possible bias in the interpretation made by the researchers.

The framework developed provides guidelines that governments can benefit from by enabling them to anticipate monitoring. However, this analysis could not address the prioritization of actions within the framework. This framework has not been tested given the long timeframe for digital transformation. Future research is needed to test and adapt it to a specific municipality. The creation of specific guides to accompany this framework should also be envisioned to support it.

CHAPITRE 6

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DE LA GESTION DES ACTIFS DES INFRASTRUCTURES URBAINES : CADRE STRATÉGIQUE ET ORGANISATIONNEL APPLIQUÉ À LA VILLE DE BEACONSFIELD

6.1 Introduction

Les pratiques conventionnelles de la gestion des actifs sont problématiques, ce qui a pour conséquence de réduire la valeur potentielle des actifs tout au long de leur cycle de vie. En effet, l'information utilisée pour les activités de conception, de réalisation et de maintien est fragmentée entre les différentes phases de cycle de vie de l'actif, entre différents groupes d'intervenants et entre divers actifs. Toute cette fragmentation entraîne une perte d'information entre les différentes activités de la gestion des actifs. Le gestionnaire se bricolera ainsi un système de valeurs et des pratiques en fonction de sa propre perception de l'intégrité. Pour ce faire, il utilise ses propres cadres et processus liés à sa discipline. Chaque gestionnaire communique avec ses propres langages et normes, et s'appuie sur des lignes directrices isolées (Senge & al., 1991).

En parallèle, les pratiques de la gestion des actifs sont réorganisées avec la mise en œuvre d'une panoplie de technologies. Ces technologies devront préserver l'information et aider à sa gestion sur le cycle de vie des actifs, ce qui est un obstacle majeur pour la gestion des actifs (Haider, 2012). Les gestionnaires d'actifs utilisent des systèmes d'informations (SI), mais les SI ne doivent pas être considérés comme des constructions techniques ou des dépôts d'information (Luna-Reyes & al., 2005; Lapiedra & al., 2006). De plus, il y a un manque de soutien théorique approprié pour la transformation numérique de l'organisation avec « une pensée systémique » (Senge & al., 1991), ainsi que la mise en œuvre, l'utilisation et l'institutionnalisation des technologies pour une gestion des actifs efficace, et ce, pour l'ensemble des activités de la gestion des actifs et en temps réel.

La ville de Beaconsfield, au Québec, a commencé à intégrer la gestion des actifs, mais se trouve face à une transformation numérique non planifiée qui touche différentes activités et départements. En l'absence d'un cadre qui consolide la structuration et le partage de l'information numérique essentiel entre les différentes activités de la gestion des actifs, il peut paraître complexe et difficile d'intégrer tous les éléments permettant d'assurer une saine gestion des actifs d'infrastructures urbaines de la ville. De là découle la question de la présente recherche :

Comment cadrer la transformation numérique de la gestion des actifs des infrastructures urbaines de la ville de Beaconsfield ?

L'objectif de ce Chapitre 6 est de valider les fondements d'un nouveau cadre de transformation numérique de la ville de Beaconsfield.

La présente recherche valide et adapte un cadre pour la transformation numérique, développé lors du Chapitre 4, dans le cas de la ville de Beaconsfield. Les méthodes qui valident et améliorent le cadre sont : les ateliers, un sondage, des entrevues, l'analyse documentaire et l'investigation sur place.

6.2 Cadre préliminaire

La présente recherche repose sur un cadre développé dans le Chapitre 4. Ce cadre contient 22 sous-catégories structurées en six grandes catégories (Tableau 6.1). Cette catégorisation servira à cadrer les questions du sondage et des entrevues. Elle servira aussi à tester, valider et adapter ce cadre au contexte québécois.

Tableau 6.1 Catégorisation des freins de la transformation numérique

06 Catégories		22 Sous-catégories	
1	Stratégie / Gouvernance / pilotage / leadership / Ressources financières	Manque de pilotage et/ou de leadership	1
		Absence de plan stratégique	2
		Pression externe	3
		Faibles dans la gouvernance	4
		Manque de support de la haute direction	5
		Enjeu du financement	6
2	Processus / pratique / gestion	Collaboration	7
		Gestion des données	8
		Pratiques en cours et gestion	9
3	Organisation / structure / Culture	Gestion du changement Structurel et/ou organisationnel	10
		Communication	11
		Formation	12
		Culture de l'organisation	13
4	Politique / normes /règlementation / lois / contrats	Politique et soutien des élus	14
		Normes / contrats	15
		Lois et règlementation	16
5	Personnes / communauté / Réseau	Vision limitée	17
		Résistance au changement	18
		Manque de ressources humaines	19
		Conviction des citoyens	20
6	Écosystème numérique /informationnel	Technologies et outils	21
		Systèmes d'information existants	22

La méthodologie, les questions et les objectifs utilisés dans les différentes méthodes d'analyse du présent Chapitre 6 sont inspirés de la recherche présentée au Chapitre 4. Cette dernière a été menée auprès de 44 villes québécoises de différentes tailles. Alors que la présente recherche se concentre sur une seule ville « Beaconsfield », de taille moyenne, située également dans la province de Québec au Canada.

6.3 Démarche de la recherche

La recherche est menée en étroite collaboration avec les employés de la ville de Beaconsfield. Il y a eu une certaine rétroaction qui a influencé le contexte de la recherche. Le chercheur a été plus qu'un observateur externe. Ceci correspond à la recherche-action comme approche du moment puisqu'elle combine les objectifs de la recherche appliquée et fondamentale en contribuant à la solution de problèmes pratiques et à la création de nouvelles connaissances théoriques en même temps. La recherche-action est unique dans la façon dont elle associe la recherche et la pratique par le changement et la réflexion (Rezgui 2007). Elle vise à construire et/ou tester la théorie dans le contexte de la résolution d'un problème

pratique immédiat dans un contexte réel (Azhar et coll., 2010). C'est « une façon de générer des connaissances sur un système social tout en essayant de le changer » (Lewin, 1946 dans Azhar et al., 2010).

La Figure 6.1 présente la méthodologie et les méthodes d'analyse à partir du cadre préstructuré (développé au Chapitre 4). Un atelier, un sondage, des entrevues et l'analyse documentaire sont utilisés afin de tester, valider et adapter ce cadre au contexte de la ville de Beaconsfield.

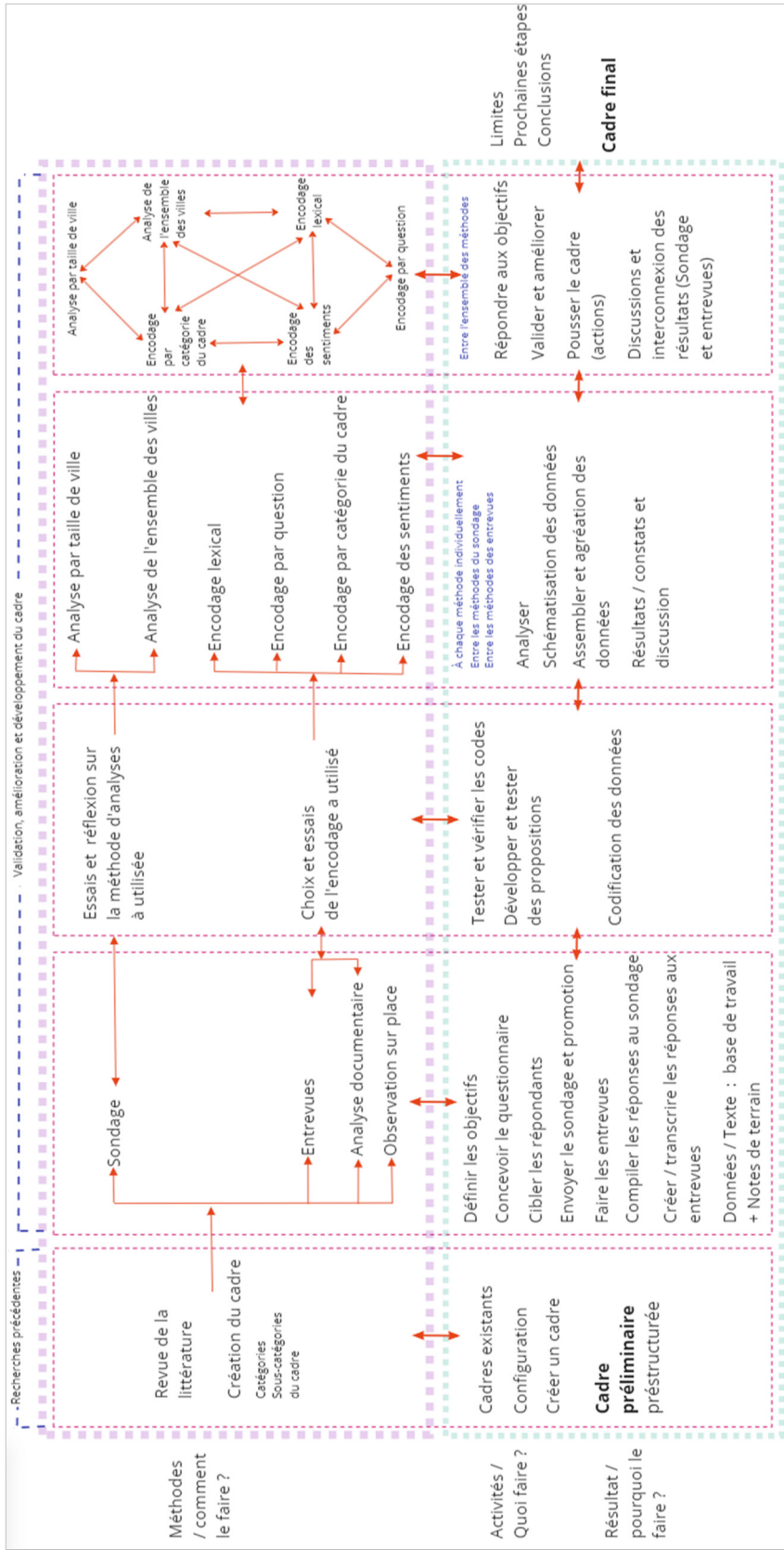


Figure 6.1 Séquences d' analyse à partir d' un cadre préstructuré

6.4 Sondage

6.4.1 Méthodologie

Un sondage est effectué afin d'identifier les freins et enjeux de la transformation numérique des activités de gestion des actifs auxquels est confrontée la ville de Beaconsfield. Le sondage est composé de 25 questions reprises de l'étude du Chapitre 5. Cette dernière couvrait 44 villes de différentes tailles alors que la présente recherche est concentrée sur une seule ville de taille moyenne. Ces questions sont présentées avec les résultats au Tableau 6.2. Les données recueillies de ce sondage sont qualitatives.

Ce sondage cible des répondants qui correspondent aux critères suivants :

1. Employés de la ville de Beaconsfield.
2. Occupant une fonction incluant au moins une activité de la gestion des actifs ou de direction d'un département.
3. Nombre minimal de 20 répondants couvrant les différents départements.

Avec l'aide de la directrice du service des Travaux publics, la liste des répondants ciblés est fixée, puis le lien vers le sondage est envoyé par courriel avec un message explicatif et les coordonnées des chercheurs à contacter au besoin. Il est aussi précisé que le sondage est préparé à des fins d'études universitaires et que les noms des répondants resteront anonymes.

Les réponses au questionnaire se font en ligne sur « Jotform » en un clic, ce qui prend un maximum de 10 minutes. Ce processus a duré un mois. La cueillette des réponses s'est faite sur Jotform, ce dernier les transfère automatiquement au courriel de la chercheuse. Les données recueillies ont été classées dans des dossiers, compilées dans un fichier Excel, puis ont été analysées.

6.4.2 Questions, résultats, constats et conclusions du sondage

6.4.2.1 Profil des répondants au sondage

Le nombre de répondants au sondage est identique à celui ciblé, soit 20 répondants. Ces derniers sont tous les directeurs et chefs de services ainsi que des professionnels.

6.4.2.2 Résultats de l'analyse

Le tableau 6.2 présente les catégories, les sous-catégories, les questions et les réponses aux sondages à l'exception des réponses aux questions 10, 14, 19, 22 et 23 qui seront présentées séparément plus loin.

Tableau 6.2 Résultats de l'analyse des réponses aux sondages
Questions et canevas du Tableau reproduits du Chapitre 5

Catégorie et sous-catégorie	Question	Résultats
Stratégie / Gouvernance / Pilotage / Leadership	Vision 1/ Est-ce que les gestionnaires de votre ville ont une vision commune sur la transformation numérique des actifs d'infrastructure urbaine ?	35% des répondants affirment que leurs gestionnaires n'ont pas une vision commune de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. 55% ne sont pas certains.
	Stratégie 2/ Est-ce que votre ville a un plan stratégique de transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ou en lien avec le numérique ?	30% pointent l'absence de plan stratégique et 50% ne sont pas certains.
	Application de la stratégie 3/ Est-ce que ce plan stratégique de transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines se reflète par des activités (actions) de la ville ?	20% des sondés qui ont répondu « oui » à la question 2 certifient que le plan stratégique se traduit par des actions.
	Suivi des actions 4/ Est-ce qu'il y a une reddition de comptes (évaluation du rendement) quant aux activités de ce plan stratégique de transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ?	Seulement 5% des répondants affirment qu'il y a une reddition de comptes.
	Financement 5/ Pendant la planification du portefeuille des projets de votre ville, est-ce qu'un financement des projets de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines est prévu dans le Programme triennal d'immobilisations (PTI) ?	20% des répondants affirment que « non » la transformation numérique n'est pas prévue au PTI et 60% ne sont pas certains.

A suivre

Tableau 6.2 : Résultats de l'analyse des réponses aux sondages
 Questions et canevas du Tableau reproduits du Chapitre 5 (suite)

Catégorie et sous-catégorie	Question	Résultats	
Processus / Pratique / Gestion	Pratiques en cours et gestion	6/ Votre ville dispose-t-elle d'un ensemble de tâches et d'activités prédéfinies pour initier, exécuter et analyser des projets de transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines?	40% certifient qu'il n'y a pas de tâches prédéfinies pour exécuter des projets de transformation numérique et 45% ne sont pas certains.
	Validation des activités	7/ Votre ville dispose-t-elle d'une équipe centrale qui valide l'ensemble des activités de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ?	45% des répondants affirment qu'il n'y a pas d'équipe qui valide les activités de la transformation numérique et 35% ne sont pas certains.
		8/ Dans votre ville, est-ce que les employés ont accès à des formations professionnelles leur permettant de se familiariser avec la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ?	35% des sondés considèrent que l'accès aux formations est bon, 30% pensent au contraire que cet accès n'est pas suffisant.
	Formation	8.a / Si oui, pensez-vous que le contenu des formations est approprié à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ? (Formations touchant les domaines de développement professionnel et non seulement l'initiation aux logiciels de fonctionnalité comme MS Project)	15% de ceux qui ont répondu « oui » à la question 8 pensent que le contenu des formations est approprié.
		8.b / Si oui, pensez-vous que le nombre d'employés ayant accès à ces formations est suffisant pour la mise en œuvre de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ?	10% des répondants pensent que les employés ont accès à des formations permettant de se familiariser avec la transformation numérique. 35% ne sont pas certains.
Collaboration	9/ Dans votre ville, y a-t-il des équipes qui utilisent des approches de collaboration interdisciplinaire ? (Ex. LEAN Management, PCI) Si oui, lesquelles ?	30% des répondants affirment que les équipes n'utilisent pas d'approche de collaboration interdisciplinaire. Le reste des répondants n'est pas certain.	

À suivre

Tableau 6.2 : Résultats de l'analyse des réponses aux sondages
 Questions et canevas du Tableau reproduits du Chapitre 5 (suite)

Catégorie et sous-catégorie	Question	Résultats
Organisation / Structure / Culture	Capacité et organisation ressources humaines 12/ Votre ville dispose-t-elle d'un nombre suffisant d'employés compétents dans le domaine de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ? (Banque d'experts)	45% des sondés considèrent qu'il n'y a pas un nombre suffisant d'employés compétents dans le domaine de la transformation numérique. 45% ne sont pas certains
	Gestion de changement structurel et organisationnel 11/ Dans votre ville, y a-t-il un plan de gestion de développement des ressources dans le domaine de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ? (Ex. : emploi, promotion, récompense, etc.)	25% des répondants affirment qu'il y a un plan de gestion de développement des ressources. 60% ne sont pas certains de l'existence de ce plan.
	13/ Votre ville dispose-t-elle d'une liste des compétences nécessaires pour avancer efficacement la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ?	35% des sondés affirment qu'il n'y a pas de liste de compétences nécessaires. 45% ne sont pas certains.
Politique / Normes / réglementation / Lois / Contrats	15/ Est-ce qu'une planification du changement est adaptée et mise en action concrètement (identification des besoins fonctionnels et techniques inclus) pour la transformation numérique des actifs d'IU ?	Pour 20% des répondants, il n'y a pas de planification du changement. Les besoins ne sont pas identifiés ni priorités. 60% des répondants ne sont pas certains
	Guides et lignes directrices 16/ Votre ville a-t-elle développé ses propres guides soutenant la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ? (Ex. un guide de déploiement du BIM, un guide de livraison de permis électronique, un manuel d'utilisation GIS).	35% des répondants affirment qu'il n'y a pas de guide pour soutenir la transformation numérique et 50% ne sont pas certains quant à l'existence de ces guides.
	Contrats 17/ Votre ville a-t-elle révisé ses critères d'appel d'offre, ses clauses de contrats y compris la propriété intellectuelle (PI), les droits de propriété afin de s'harmoniser avec les projets de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ?	35% des sondés certifient qu'il n'y a pas eu de révision dans les clauses de contrats ou dans les critères d'appel d'offre. 55% des répondants ne sont pas certains.
Politique / Normes / réglementation / Lois / Contrats	Normes et standards 18/ Est-ce que votre ville utilise ses propres normes et standards ou se base sur des normes nationales ou internationales établies ? (Ex. : ANSI, BS, AS ou ISO)	30% des répondants affirment que la ville se base sur des normes nationales ou sur ses propres normes. 55% ne sont pas certains.

À suivre

Tableau 6.2 : Résultats de l'analyse des réponses aux sondages
 Questions et canevas du Tableau reproduits du Chapitre 5 (suite)

Catégorie et sous-catégorie	Question	Résultats
Personnes / communauté / Réseau	Implication des citoyens	20/ Est-ce que la vision de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines de votre ville et sa valeur générée sont communiquées aux citoyens ?
	Collaboration externe	21/ Est-ce que votre ville fait partie d'un regroupement qui travaille sur la transformation numérique des actifs d'IU ? (Ex. : comité, association)
Technologie/ Économie numérique/ Informatique	Veille technologique systémique	24/ Votre ville dispose-t-elle d'une veille technologique systémique ? (Pouvant affecter la qualité des services)
	Équipe dédiée à la gestion des données	25/ Dans votre ville, y a-t-il une équipe qui veille sur le partage de données sur l'environnement bâti entre les départements ?

Fin du Tableau 6.2

Vu la nature des questions 10, 14, 19, 22 et 23, leurs réponses sont présentées ci-dessous, soit séparément du Tableau 6.2.

10 / Est-ce que l'un des concepts suivants est utilisé (au moins un service ou une activité qui s'attache à avancer ce concept) dans votre ville ?

Les réponses à la question 10 sont présentées à la Figure 6.2.

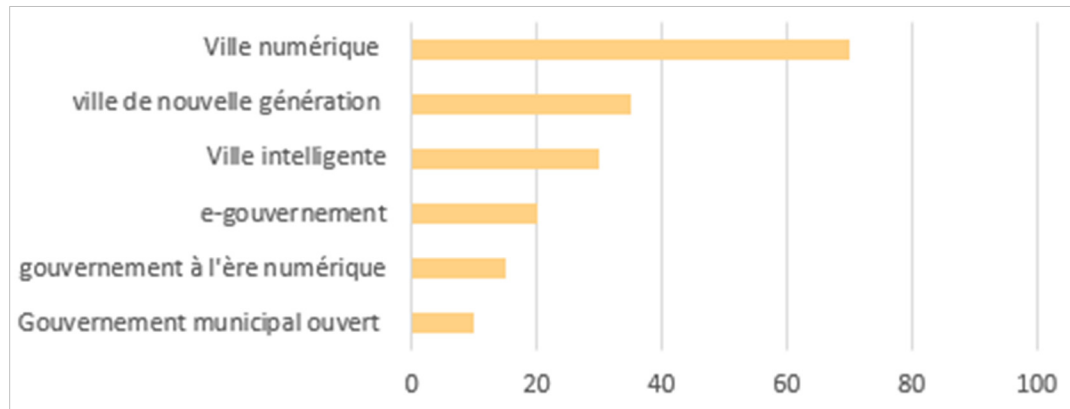


Figure 6.2 Pourcentage des concepts de ville selon les réponses au sondage

Il y a une forte domination du concept « ville numérique » qui revient dans 70% des réponses, il est suivi du concept de « ville de nouvelle génération » et de « ville intelligente » à 25%. C'est étonnant comme résultat car les entrevues et le reste de l'analyse montrent clairement l'écart entre le numérique et les activités des employés. Cela pourrait s'expliquer par la non-compréhension de la question ou de la définition d'une ville numérique et intelligente. D'ailleurs, la définition de ville intelligente est en décalage entre ce que la littérature avance et comment les employés de la ville l'expliquent. Ceci a été confirmé lors des discussions aux entrevues (section 6.4) et de l'analyse documentaire (section 6.6).

14/ Sur une échelle de 1 à 5, quel est le niveau d'adhésion aux projets de changement de la transformation numérique des infrastructures urbaines perçu au sein de votre ville ? (1 = aucune adhésion, 5 = adhère pleinement).

Les réponses à la question 14 sont présentées à la Figure 6.3.

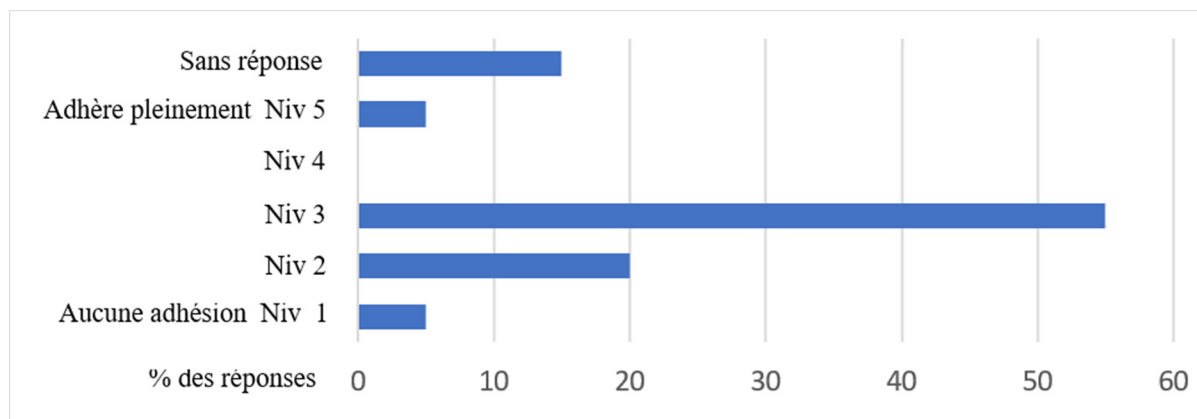


Figure 6.3 Niveau d'adhésion aux projets de changement de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines

À cette question, les réponses sont plutôt neutres, car 55% des réponses se situent dans la troisième catégorie, à savoir que l'adhésion aux projets de changement de la transformation numérique est indifférente. Cela peut s'expliquer par la mauvaise compréhension de la question ou l'absence de connaissances par rapport à la transformation numérique. Moins de 10% des réponses évoquent une adhésion complète.

L'adhésion aux projets de changement de la transformation numérique est assez faible, 80% des réponses se situent entre « aucune adhésion » et « adhésion partielle ». Cela représente un frein pour la mise en place de la transformation numérique pour la ville de Beaconsfield.

19/ Sur une échelle de 1 à 5, à quel niveau les élus font preuve de leadership et supportent la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ? (1 = aucun support, 5 = support continu).

Les réponses à la question 19 sont présentées à la Figure 6.4.

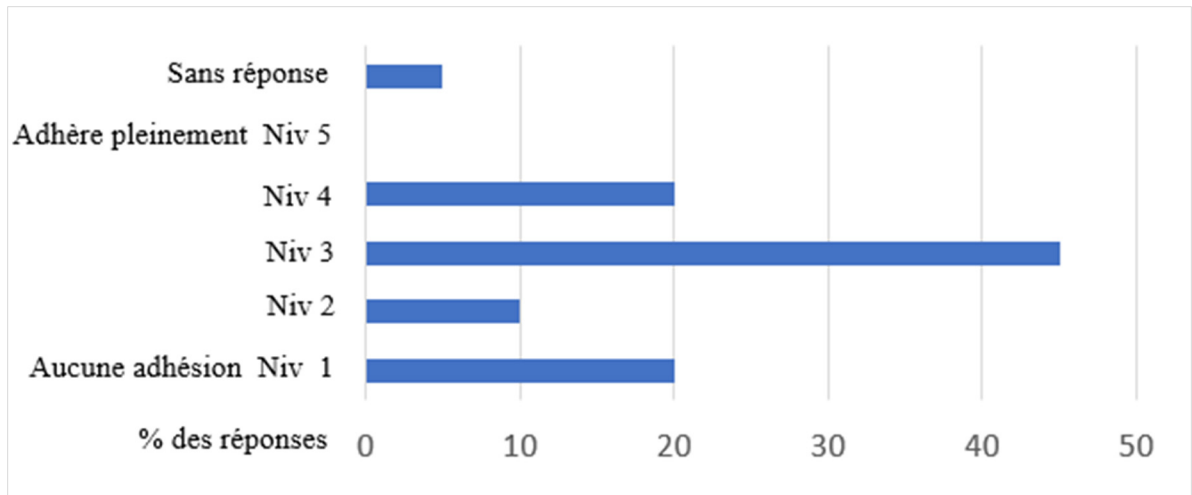


Figure 6.4 Niveau de support des élus à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines

Les avis divergent, 20% des répondants considèrent que les élus ne font preuve d'aucun leadership et ne supportent pas la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. 45% des répondants affirment que les élus sont plutôt neutres par rapport à la transformation numérique, il n'y a pas de support mais pas non plus d'empêchement.

Pour près de la moitié des répondants, les élus ne font pas preuve de beaucoup de leadership. Il n'y a aucune réponse indiquant que les élus font preuve de soutien continu ce qui est un enjeu pour la mise en place d'une transformation numérique efficace.

22/ Veuillez indiquer les technologies les plus utilisées par les employés s'occupant de la livraison et de la gestion des actifs d'infrastructures urbaines de la ville.

Les réponses à la question 22 sont présentées à la Figure 6.5.

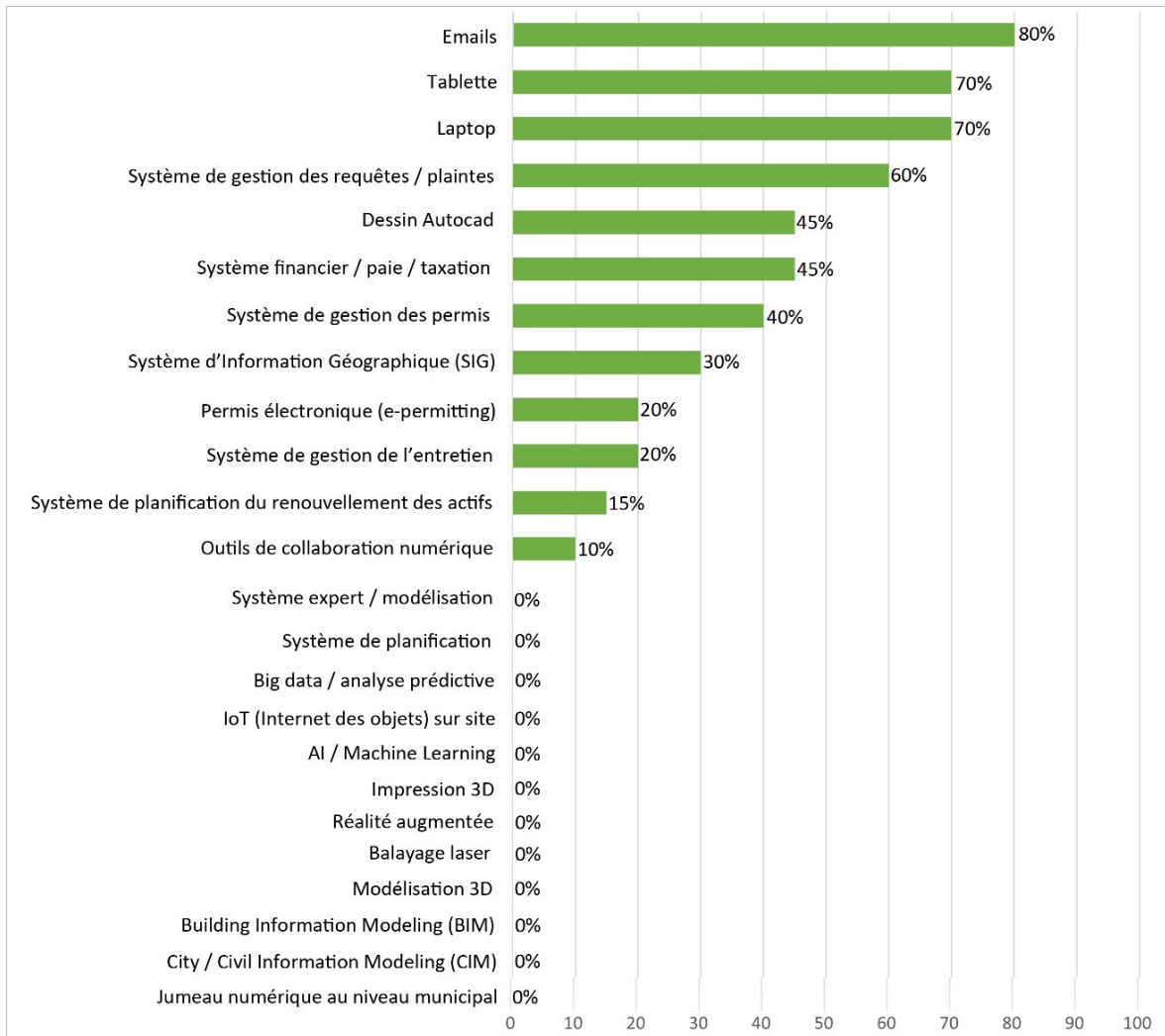


Figure 6.5 Pourcentage des technologies les plus utilisées selon les réponses au sondage

Les réponses à cette question montrent qu'il y a très peu d'utilisation d'outils de collaboration numérique nécessaire au partage des données dans les différents services. Si Beaconsfield était une ville intelligente comme les répondants l'ont qualifiée à la question

10, les outils de collaboration numérique devraient être parmi les outils les plus utilisés. Ceci est confirmé aussi lors de l'analyse documentaire à la section 6.7.

Les 30% indiquant l'utilisation du Système d'information Géographique (SIG) dans la ville de Beaconsfield est aussi étonnant comme résultat étant donné que le Système d'information Géographique a été récemment installé dans la ville et les données sont en cours de compilation et stockage dans ce système, selon l'affirmation du chef du service Technologie de l'Information (TI). Il faut noter que la ville de Beaconsfield a été fusionnée en 2002 avec la ville de Montréal, puis défusionnée en 2006 (Pierrevelcin, 2007). Après investigation des chercheurs en présentiel à la ville, les employés consultaient seulement quelques données existantes dans leur système géomatique. Ce système a été conçu quand Beaconsfield était fusionnée avec la grande ville de Montréal et, depuis, il n'a pas été mise à jour. Ceci explique le taux de réponse pour l'utilisation du Système d'information Géographique à Beaconsfield. Suite aux recommandations de K2 Geospatial, un technicien en géomatique a été recruté en 2021 et un processus de vérification de fiabilité des données est en cours.

La ville de Beaconsfield travaille toujours avec des dessins 2D, des croquis dessinés à la main ou avec Autocad. D'ailleurs, le logiciel de dessin CIVIL3D vient d'être acheté. Les technologies les plus récentes utilisées pour le Building Information Modeling (BIM), Civil Information Modeling (CIM), modélisation 3D, etc. ne sont pas utilisées par les employés de la ville.

Pour mieux comprendre la raison, lors des entrevues, la question a été posée aux répondants. Ces derniers pensent que ces technologies et processus concernent seulement les bâtiments, ils n'en voient pas l'utilité ni le bénéfice car la ville possède seulement quelques bâtiments à sa charge. Certes, 85% des logements privés sont des maisons individuelles non attenantes (Statistique Canada, 2016). Or, chaque actif a une valeur à conserver pour les générations futures, donc, si les nouvelles technologies offrent ce potentiel, pourquoi la négliger et ne pas en profiter? Le fait d'avoir un peu de quantité d'actifs est un avantage pour la ville qu'il faut exploiter.

Les 20% indiquant l'utilisation du permis électronique (*e-permitting*) par la ville est aussi une réponse surprenante, car après investigation auprès du service de délivrance des permis de la ville, les répondants au sondage ont confondu le système de gestion des permis avec le permis électronique, qui sont deux systèmes différents. Le permis électronique n'est pas utilisé ni connu par la ville.

23/ Sur une échelle de 1 à 5, à quel point le département de technologie de l'information (TI) soutient la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ? (1 = aucun soutien, 5 = soutien continu)

Les réponses à la question 23 sont présentées à la Figure 6.6.

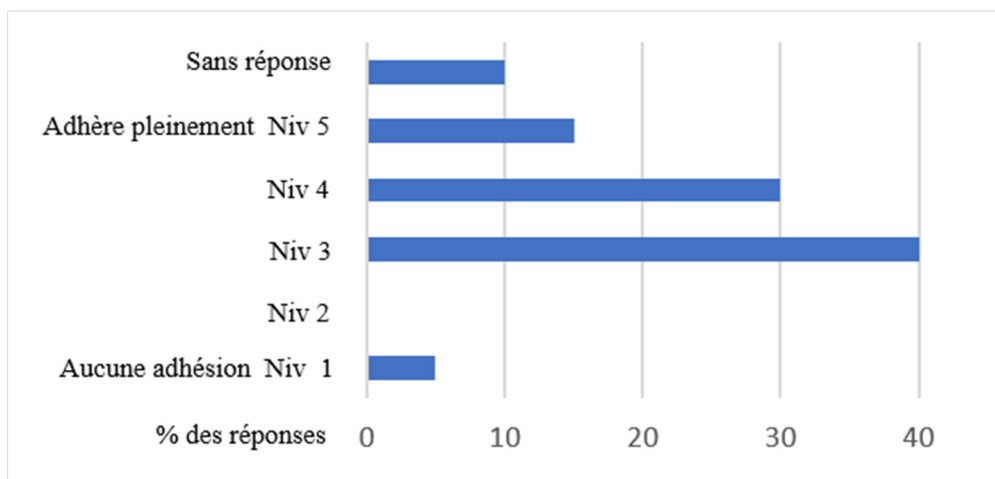


Figure 6.6 Niveau de soutien du service Technologie de l'Information à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines

Les réponses sont majoritairement positives : 40 % des réponses évoquent un soutien moyen, 30% un soutien fort et 15% un soutien continu. 80% des réponses se trouvent du côté positif. Le service Technologie de l'information (TI) soutient la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines dans la ville de Beaconsfield. Cela ne semble donc pas être un frein à la mise en place d'une transformation numérique efficace. La Figure 6.7 regroupe toutes les réponses au sondage, à l'exception des réponses aux questions 10, 14, 19, 22 et 23.

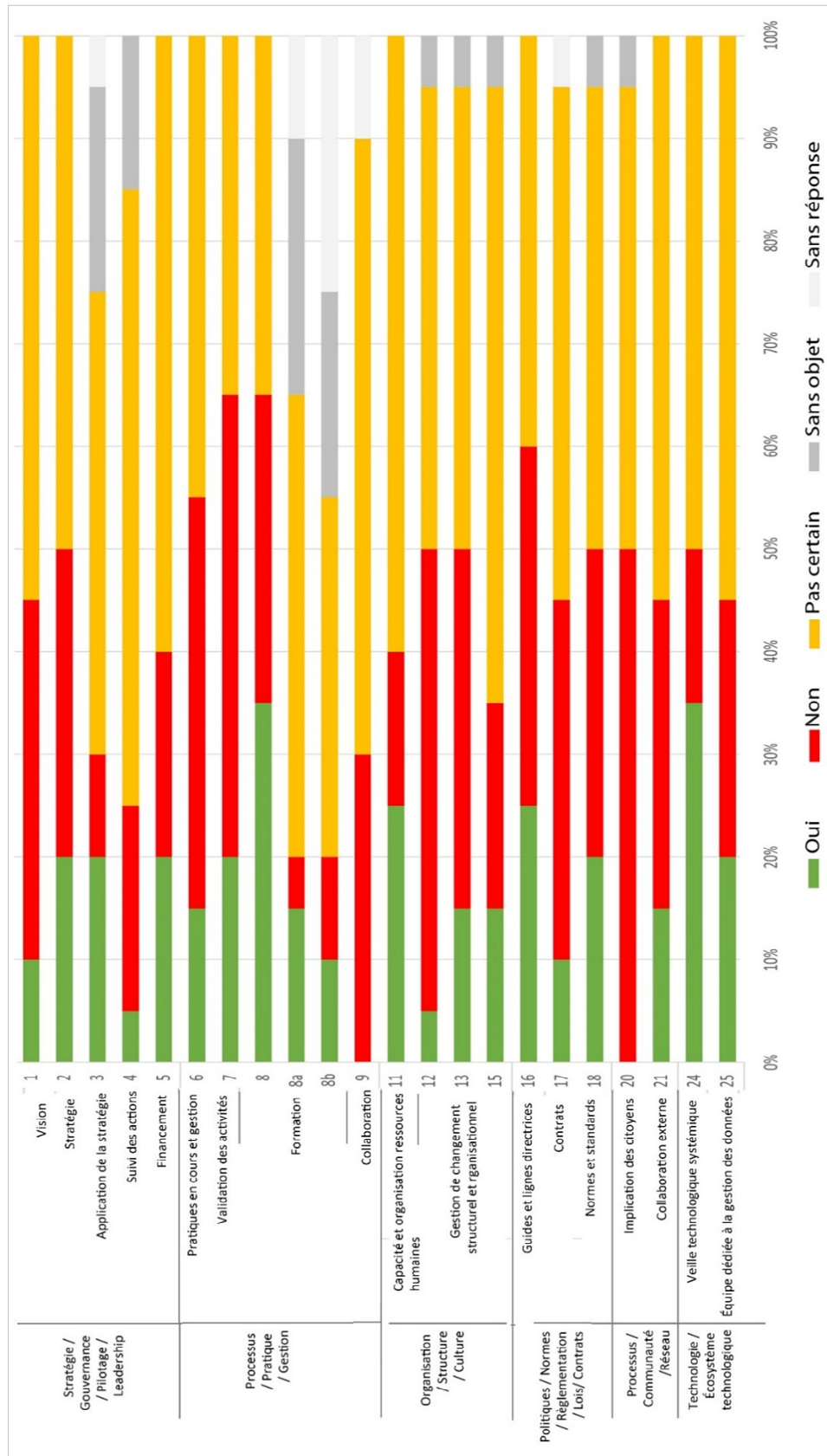


Figure 6.7 Compilation des réponses au sondage

Le premier constat est la couleur jaune qui domine, représentant un taux élevé de réponses « Pas certain ». Lors des entrevues, les enquêteurs voulaient comprendre cette dominance. Les répondants ont avoué qu'ils ne voulaient pas mettre un « Non » partout. L'utilisation de « Pas certain » exprime un doute et tend davantage vers un « Non » déguisé. Le deuxième taux de réponses le plus élevé est celui des réponses négatives « Non ».

La réponse à la Q9 (sur les approches de collaboration interdisciplinaire) ne présente aucune réponse positive, il n'y a pas d'approche interdisciplinaire dans la ville, c'est-à-dire que le travail en vase clos est encore prédominant dans la ville de Beaconsfield.

À la Q20 (sur la communication de la vision de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines et sa valeur générée aux citoyens) les sondés indiquent qu'il n'y a pas de communication auprès des citoyens concernant la transformation numérique, aucune réponse positive ne ressort de cette question. Ceci est confirmé dans l'analyse documentaire « Manque de communication avec les citoyens » (Beaconsfield, 2018).

Les questions 8 (relative à l'accès à la formation) et 24 (relative à la veille systémique) ont le taux de réponses positives le plus élevé (35%), cependant ce sont des taux insuffisants pour confirmer l'exactitude de la réponse.

6.4.2.3 Conclusion du sondage

Le Tableau 6.3 conclut cette section en présentant les réponses aux objectifs du sondage.

Tableau 6.3 Réponses aux objectifs du sondage

Dresser un portrait global des efforts de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines dans le milieu municipal québécois et canadien.	Malgré une volonté de se diriger vers la transformation numérique, les efforts fournis par la ville ne sont pas assez importants. Il y a très peu de résistance au changement, cependant il persiste beaucoup d'incompréhension autour du concept de la transformation numérique, ce qui crée un décalage dans les attentes et les visions des employés. La ville de Beaconsfield n'a pas encore entrepris une transformation numérique systémique et structurée. Le niveau de maturité numérique de la ville est encore trop faible pour supporter la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines.
Identifier les freins et défis de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines (bâtiments + infrastructures urbaines) auxquels sont confrontées les villes canadiennes.	Les freins qui ont été catégorisés dans le cadre de cette enquête ont été justifiés et confirmés dans les réponses au sondage.
Comprendre la structure organisationnelle en place et s'il y a des initiatives prises ou pensées pour mener le changement organisationnel.	Il n'y a pas de structure organisationnelle mise en place par la ville. Il n'y a pas non plus de plan précis pour fédérer les initiatives.
Comprendre la portée de la stratégie de la transformation numérique des actifs d'IU dans la ville et cerner les lacunes et impact sur les éléments suivants :	Il n'existe pas de plan stratégique pour la transformation numérique.
– la réglementation, les politiques et contrats	Il y a un besoin identifié de modifier les politiques et les contrats afin de limiter l'utilisation du papier à Beaconsfield. Cependant, il semblerait que la mise en place de procédures entièrement numériques prenne du temps.
– les processus et pratiques en cours	Rien n'est mis en place.
– les ressources humaines	Il y a un manque de personnel qualifié dans le domaine. La quantité de données à traiter est trop importante pour le personnel en place, rien n'est fait pour les former ou pour agrandir les équipes.
– l'écosystème numérique de la ville	Il est basé sur les nécessités et le besoin particulier de chacun des départements séparément. Il existe des problèmes au niveau de l'interopérabilité des outils et de l'accès aux données entre les départements.

6.5 Entrevues

6.5.1 Méthodologie : type, objectifs, préparation et déroulement

Les entretiens semi-dirigés avec les employés de la ville de Beaconsfield ont été menés avec les mêmes six questions conçues au Chapitre 5 permettant ainsi une discussion ouverte, mais dirigée. Les réponses, opinions et attitudes des répondants sont une source précieuse de renseignements, car elles permettent de compléter et de valider les informations provenant d'autres sources (les ateliers, le sondage et l'analyse documentaire). Les objectifs de ces entrevues étaient de :

- Dresser un portrait global des efforts de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines dans la ville de Beaconsfield;
- Identifier les freins et défis de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines auxquels est confrontée la ville de Beaconsfield;
- Comprendre la structure organisationnelle en place et s'il y a des initiatives prises ou pensées pour mener le changement organisationnel de la transformation numérique;
- Comprendre la portée de la stratégie de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines dans la ville et son impact sur la réglementation, les politiques et les contrats, ainsi que les processus et pratiques en cours, les ressources humaines et l'écosystème numérique de la ville.

Tous les directeurs de la ville de Beaconsfield ont été interrogés, ainsi que quelques professionnels, afin d'acquérir une compréhension systémique de l'influence de la transformation numérique sur les différents départements de la ville. Les rencontres se sont déroulées à distance sur la plateforme Zoom, étant donné les mesures sanitaires liées à la COVID-19. Le questionnaire était le même dans la majorité des entrevues (voir section 7.5.3.3). Cependant, il est arrivé qu'il faille adapter et préciser les questions selon le déroulement de l'entretien. Également, il est arrivé que certains répondants ont entamé une discussion plus large sur le sujet et ont apporté des opinions qui ont rallongé le temps des

entrevues. L'enquêteur était tenu de respecter la confidentialité des renseignements ainsi que l'anonymat du répondant.

Comme pour la recherche du Chapitre 5, la transcription complète de l'audio des entretiens et des notes a été utilisée pour la collecte des données. Une transcription automatisée a été faite à l'aide de l'outil « Dictée Word pour Microsoft 365 ». Immédiatement après la transcription, les résultats ont été ajustés aussi fidèlement que possible, y compris les erreurs linguistiques ainsi que la terminologie la plus précise.

6.5.2 Méthodes d'analyse

L'analyse des réponses aux entrevues se base principalement sur l'analyse de la transcription, ce qui nécessite la relecture, l'interprétation et le codage textuel afin de repérer les catégories du cadre et les réponses aux objectifs des entrevues. L'analyse statistique vise à identifier et calculer la redondance textuelle (fréquence d'occurrences) ainsi que l'interdépendance contextuelle entre les éléments du cadre. Les statistiques linguistiques obtenues permettent ainsi de prendre des décisions quant à la classification des enjeux.

Les chercheurs repèrent les catégories et les encodent dans le logiciel NVivo. Ce dernier sert d'espace de structure et d'organisation, il facilite la communication et s'occupe des calculs de la fréquence d'occurrences. NVivo génère des tableaux et graphiques et offre une bonne représentation des données.

Quatre (4) approches ont été utilisées pour l'analyse textuelle afin d'améliorer et d'adapter le cadre en fonction des particularités de la ville : l'analyse statistique lexicale de la transcription des entrevues; l'encodage des réponses par question; l'encodage des freins ressortis selon le cadre; l'encodage des sentiments par réponse. Ces approches aident non seulement l'enquêteur à mener à bien ses investigations, mais également à interconnecter les résultats obtenus de chaque approche. L'interconnexion des résultats assure leur fiabilité ou détecte les lacunes des approches et des données collectées.

6.5.3 Questions, résultats, constats et conclusions des entrevues

6.5.3.1 Profils des répondants aux entrevues

Sept (7) entrevues semi-dirigées ont été menées au sujet de la transformation numérique de la ville de Beaconsfield, qui est de taille moyenne (Tableau 6.4). Les personnes interrogées occupent des fonctions de directeur ou professionnel et travaillent dans différents départements de la ville.

Tableau 6.4 Profils des répondants aux entrevues

Nbr répondants / âge			Nbr répondants / ans d'expériences			Nbr répondants / poste / sexe		
Âge	Nbr	%	Expérience	Nbr	%	Poste	Nbr	%
20/30	1	14,3	Moins de 5 ans	2	28,6	Direction	5	71,4
30/40	3	42,9	5/10 ans	2	28,6	Employés	2	28,6
40/50	0	0	10/20 ans	0	0	Total	7	100
50/60	3	42,9	Plus de 20 ans	3	42,9	Homme	6	85,7
Total	7	100	Total	7	100	Femme	1	14,3

6.5.3.2 Encodage lexical

Afin de faire ressortir les freins les plus cités par les enquêtés et valider le cadre, un traitement des unités de texte a été réalisé. La Figure 6.8 présente les résultats de la requête effectuée avec le logiciel NVivo. L'analyse montre la dominance du mot « données ».



Figure 6.8 Résultat de l'analyse lexicale des transcriptions des entrevues

6.5.3.3 Encodage par questions d'entrevues

Les enquêtés ont répondu à six (6) questions ouvertes. À l'aide de NVivo, les unités de texte des entrevues ont été analysées. L'analyse qualitative permet de comparer les réponses des répondants en fonction du domaine dans lequel ils travaillent, mais aussi par rapport à la fonction qu'ils exercent. Cela permet de comprendre les freins et les besoins de la ville en fonction des services.

Question 1 : En quoi consiste la transformation numérique des actifs bâtis de votre municipalité ?

Près de 86% des répondants ont une vision limitée de la définition de la transformation numérique. 14% considèrent que c'est un virage incontournable même si la transformation numérique n'est pas entamée de manière structurée. Dans la ville en question, Beaconsfield, il y a aussi des problèmes de mise en œuvre de la transformation numérique, même si quelques initiatives existent, elles ne sont pas coordonnées, ce qui limite leur impact. Ceci est confirmé par le chercheur dans l'analyse de la situation actuelle de la ville en présentiel. Il ressort des entrevues que bien que les dirigeants de la ville montrent une bonne volonté et un désir de changement, ils n'ont aucune idée de la façon d'entreprendre cette transformation numérique.

« Nous de notre côté on voit la transformation numérique d'une façon limitée, mais elle est beaucoup plus large que ça. »

« Il y avait déjà des budgets là-dedans mais ils ne savaient pas par où commencer, ni quoi faire, ni ce que c'est. Ils savaient juste que c'est bénéfique pour la ville. »

« La transformation numérique c'est un virage incontournable. Si je parle au niveau des TI, en tant que TI, parce qu'on sait que l'information est plus facilement exploitable, plus facilement manipulable au niveau de la ville. »

« C'est tranquillement, on s'en va plus vers la numérisation de tous les documents, donc pour qu'on puisse utiliser des logiciels pour manipuler les documents et rajouter différentes fonctions à ces documents. »

Question 2 : De quelles manières votre municipalité a modifié sa réglementation, ses politiques ou ses documents contractuels pour faciliter la mise en œuvre du numérique ?

Pour 43% des répondants, les politiques et les documents sont en train de changer, cependant ce changement est à la fois long et lent. 29% des répondants considèrent que ces modifications vont se faire, et les 29% restants affirment que ce n'est pas au programme.

D'ailleurs l'analyse documentaire (section 7.7) confirme que peu de documents contractuels et de réglementation poussent la transformation numérique (BEAC-045 par exemple exige le dépôt du permis de construction en papier).

Pour l'instant, il n'y a pas de structure mise en place pour faciliter la mise en œuvre du numérique. Il a été évoqué par un répondant que quelques réglementations doivent être modifiées par le conseil pour pouvoir les appliquer et avancer dans la transformation numérique. 29% des répondants affirment que la ville impose un format de données spécifiques dans ses contrats.

« Pour moi, ça avance, c'est comme la tortue, c'est lent, c'est vraiment de la goutte à goutte. »

« On s'est doté d'outils et aussi de personnel spécialisé au niveau de la numérisation récemment. Je veux dire qu'on se dirige résolument vers cette option-là. »

« On n'est pas là du tout encore chez nous. »

« Ce serait quelque chose de politique parce que ce serait le Conseil qui va devoir approuver ces genres de modifications là, ces exigences-là. Parce qu'ils doivent être écrits dans le règlement. »

« On veut les données sous la forme d'une base de données dans tel format qui serait produit pour nous. On ne veut plus de droits d'auteur. »

Question 3 : Veuillez expliquer comment les processus /pratiques / gestion ont été transformés par le numérique?

Pour 43% des répondants, les processus et les pratiques sont en cours de transformation, ils évoquent la numérisation des données. 43% des répondants affirment que cela va se faire dans le futur. Il n'y a pas, pour l'instant, de structure mise en place, cependant la pandémie mondiale a permis d'accélérer certains fonctionnements et de changer certaines manières de faire. Il n'y a donc pas de portée sur les processus car rien n'est fait pour l'instant.

« On est vraiment là, donc on n'a pas encore le fruit de cette transformation. »

« Et ce qu'on veut faire éventuellement c'est pouvoir recevoir les documents déjà numérisés et le permis à envoyer numériquement. »

Changements liés à la pandémie de la COVID-19

« Avec la COVID ce qu'on a fait, c'est qu'on a permis qu'on ait plus de certificat et d'autorisation de permis de construction qui sera disponible en ligne pour faire les demandes. Les citoyens maintenant peuvent le faire directement de chez eux sur internet et nous, on reçoit les documents numériques qu'ils déposent quand ils font leur demande. Ça facilite, ça réduit l'achalandage au département. »

« La pandémie a eu un impact d'accélération. Par exemple, dans mon service, on a accéléré le processus de demande de permis en ligne, alors il y a de plus en plus de demandes de permis de tout ça qui peuvent être remplis directement en ligne par le citoyen et qui par la suite nous est transmis, et ça a eu un effet très positif et ça n'a pas été très complexe à mettre en place. »

Question 4 : Votre municipalité a-t-elle mis en place une structure particulière pour supporter la transformation numérique ?

57% des répondants affirment qu'il n'y a pas de structure mise en place. Le fait qu'il n'y ait aucune structure de mise en place pour supporter la transformation numérique est un défi de taille pour la ville de Beaconsfield.

« Je dirais, ça commence par les ressources humaines c'est à dire le fait qu'ils m'ont engagé moi et qu'ils ont engagé aussi quelqu'un du côté organisation. »

« Non il n'y en a pas de structure, c'est ça la problématique. »

Question 5 : Quel est l'impact de la transformation numérique des actifs bâtis sur les employés ? Et les services offerts aux citoyens ?

La majorité des enquêtés (85,7%) de la ville voit l'intérêt de la transformation numérique. Cependant, il reste une partie un peu plus réticente à l'idée de changer les méthodes de travail.

Le manque de personnel et d'expertise quant à la transformation numérique est un enjeu majeur pour cette ville. En effet, 57% des répondants identifient le manque d'expertise comme un frein et 43% le disent aussi pour le manque de personnel. D'ailleurs cet enjeu est aussi présent dans la documentation : les plans directeurs, le plan d'intervention, etc.

« Dans un contexte très particulier comme celui de notre ville, on a besoin de ce genre d'échange pour vraiment apprécier l'un de l'autre comment un des systèmes qui se parlent entre eux pourrait être utile à tout le monde. »

« Ouais, présentement les actifs bâtis, on n'a pas besoin de technologie qui nous permet à faire autre chose qui pourrait être avec la technologie, je ne vois pas vraiment. »

« Je suis convaincu que l'âge a un impact. »

« Mais, si on n'a pas des gens qui vont entrer les données numérisées, on n'y arrivera pas. »

« On peut avoir les meilleurs outils au monde, mais si on n'a pas les ressources pour les alimenter, les nourrir adéquatement, ils vont devenir obsolètes, non fiables. Ce sont des investissements pour rien. »

« On est aux prémices, on a certaines connaissances mais très limitées. »

Question 6 : Comment la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines a impacté l'écosystème numérique de la municipalité ?

Comme le niveau de maturité de la transformation numérique est faible à la ville de Beaconsfield, il n'est pas possible de mesurer son impact. Toutefois, les enquêtés confirment son impact positif sur l'écosystème numérique de la ville, même si cela ne suit pas un plan de reconfiguration réfléchi.

« En fait les outils, c'est comme l'utilisation des iPads qu'on n'utilisait pas dans les 3 ou 4 dernières années, on n'avait pas ça, tout était fait à la main, des notes étaient écrites à la main, etc. »

« Non. Très certainement. Il n'y a pas de plan pour reconfigurer à l'heure actuelle. »

« Il n'y a pas beaucoup de fournisseurs, et je suis très préoccupé de notre dépendance aux fournisseurs informatiques. On est coincé avec la technologie d'un seul fournisseur pour un long contrat. »

Conclusion et recommandations

La ville est enthousiaste à l'idée de s'engager dans la transformation numérique, mais la vision des employés est limitée et les outils utilisés ne sont pas au service de cette transformation. La gestion en vase clos est aussi un enjeu considérable qui ralentit la mise en place d'une transformation numérique efficace.

6.5.3.4 Encodage par catégories du cadre

Après l'encodage lexical et l'encodage selon les questions de l'entrevue, une autre méthode d'encodage est utilisée, soit l'encodage selon les freins du cadre. Le texte tiré de la transcription est encodé avec NVivo dans les « nœuds ». L'importance des freins est classée selon le nombre de répétitions. Le Tableau 6.5 présente le résultat de cet encodage.

Tableau 6.5 Occurrence des freins tirés des entrevues selon le cadre

Catégories et sous catégories	Nbre de références	% de réponses	Réaction
Stratégie/Gouvernance/Pilotage	31	16,2%	
Vision systémique / Gestion des actifs	15	7,9%	classé 3 : % grand
Plan stratégique	6	3,1%	
Financement	5	2,6%	
Pilotage et coordination	2	1,0%	
Pression externe	3	1,6%	
Processus/Pratique/Gestion	64	33,5%	
Collaboration	13	6,8%	
Pratiques en cours et gestion	14	7,3%	classé 4 : % grand
Gestion de données	37	19,4%	classé 1 : % grand
Organisation / Structure / Culture	28	14,7%	
Gestion du changement structurel et / ou organisationnel	3	1,6%	
Communication	4	2,1%	
Formation	8	4,2%	
Expertise interne / Niveau de maturité	10	5,2%	
Culture de l'organisation	3	1,6%	
Politiques / Normes /Réglementations /Lois / Contrats	15	7,9%	
Politique et soutien des élus	0	0,0%	Extrant ?
Normes et contrats	2	1,0%	
Guides et lignes directrices	1	0,5%	Extrant ?
Lois et réglementations	7	3,7%	
Terminologie	5	2,6%	
Personnes /Communauté / Réseau	21	11,0%	
Leadership / Champion	3	1,6%	
Résistance au changement	4	2,1%	
Ressources humaines	14	7,3%	classé 4 : % grand
Technologie /Ecosysteme numérique / Informationnel	16	8,4%	
Technologies et outils existants	16	8,4%	classé 2 : % grand
Nouvelles technologies et outils collaboratifs	0	0,0%	Extrant ?
Indicateurs	16	8,4%	
Rythme / cycle de vie / long terme	16	8,4%	
Total général	191	100,0%	

Constats et conclusion

L'analyse des entrevues permet de mettre en évidence cinq freins qui sont respectivement : la gestion de données, les technologies et outils existants, la vision systémique, les pratiques en cours et les ressources humaines.

La gestion de données

L'analyse qualitative permet d'identifier la gestion de données comme frein principal de la mise en place de la transformation numérique à Beaconsfield. Ce frein est évoqué par tous les répondants et représente le plus grand pourcentage, soit 19,4% des références encodées. Il s'agit d'un enjeu considérable pour la transformation numérique de la ville, et il devance largement les autres freins. Les enquêtés évoquent en particulier l'accessibilité de la donnée, le format et le partage des données, ainsi que la fiabilité et la mise à jour.

Propriété et accessibilité de la donnée

« L'utilisation des données numériques nous permet d'avoir accès rapidement et efficacement à des informations qui peuvent nous être critiques et qui nous permettent en même temps d'établir des bases solides pour prendre les meilleures décisions. »

« Je dois appeler quelqu'un pour m'informer ou venir sur les lieux pour m'aider, mais je n'ai pas accès tout de suite à cette information-là. »

Format et partage de la donnée

« Ce n'est pas dans le format que le fournisseur va décider de nous donner, il faut que ce soit dans le format que nous on veut. Et c'est ça la nuance un peu qu'il fallait payer maintenant pour l'avoir dans un autre format. »

« Alors au niveau du format et du contenu de la donnée qui est collectée, on peut exiger comment cette donnée doit être collectée. Mais aussi, dans quel format elle doit être transmise à la ville pour faciliter l'incorporation dans la base de données ou le système qui collige cette information. »

« Pour les données qu'on a maintenant quand on fait de nouveaux projets, comme en appel d'offre, on dit que l'information est numérisée, mais sous certains formats. »

Fiabilité et mise à jour

« Tu dois toujours le mettre à jour, l'entretenir. Il n'y a pas quelqu'un qui prend ça en charge pour le maintenir dans le temps, ça va finir par vieillir et ne pas être utilisable après 2 ou 3 années. »

« Mais c'est la qualité de la donnée et la mise à jour de la donnée qui comptent le plus. »

« L'information n'est pas toujours à jour, et elle n'est pas partagée. »

Il est important pour Beaconsfield d'imposer le format dans lequel la donnée doit être traitée et analysée. La donnée peut ainsi être accessible et partagée dans les différents services de la ville. De plus, il est essentiel pour la ville d'être propriétaire d'un maximum de ses données, car c'est l'enjeu le plus important pour cette dernière. Il est donc nécessaire pour Beaconsfield de planifier et connaître le niveau de détail et la quantité des données à traiter et de créer un plan stratégique efficace. L'importance de la gestion des données est aussi liée à un manque de ressources humaines, identifié aussi comme un des freins principaux, ainsi qu'à un manque d'expertise par rapport à la transformation numérique.

Technologies et outils existants

Les outils technologiques existants ont été mentionnés dans toutes les entrevues. Ce frein représente 8,4% des références encodées, et il s'agit du second frein. À cet effet, les répondants évoquent le manque d'outils collaboratifs et la non-efficacité des outils existants, ainsi que le manque de vision et de compréhension des outils utilisés; la dépendance aux fournisseurs est aussi mentionnée.

« Tandis qu'il existe d'autres solutions qui se basent sur une couche très générale, ce qui limite la capacité de travailler la donnée parce que l'outil ou l'application n'est pas bâti spécifiquement pour le réseau d'aqueduc, par exemple. »

« Mais il n'y a pas une vision globale de comment les outils s'intègrent et pourront être jumelés pour le bénéfice de tous. »

Les outils technologiques représentent donc un enjeu majeur, mais il y a un manque de compréhension au niveau des outils technologiques utilisés. Ce frein révèle le besoin d'utiliser d'autres outils plus efficaces, interopérables et de comprendre les outils afin d'exploiter leur potentiel dans le cadre de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines.

La vision systémique

Ce frein représente 7,9% des références, c'est le troisième enjeu le plus important.

« On ne savait pas quelle était l'utilité de la donnée numérique. »

« (...) même si les directeurs comprennent de façon globale que ça existe, on ne maîtrise pas jusqu'à quel point le partage de la donnée peut être utile entre les départements et pour chacun. »

« On n'est pas encore à l'étape d'intégrer ça d'une façon globale, systémique et systématique. »

La transformation numérique n'est pas comprise dans sa totalité, de plus, les dirigeants n'en voient pas tous l'intérêt. Cependant, la vision des employés est nettement différente et en faveur d'une transition vers le numérique.

Manque de ressources humaines

Ce frein représente 7,3% des références encodées, c'est le quatrième enjeu classé. Les enquêtés affirment que la ville ne peut pas se lancer pleinement dans la transformation numérique à cause du manque de ressources humaines.

« Il n'y a pas une personne qui a la charge du numérique ou du développement. »

« Mais si on n'a pas des gens qui vont entrer les données numérisées, on n'y arrivera pas. »

« Ça veut dire qu'il y a de la volonté depuis déjà 7 ans, et la problématique c'est le manque de main-d'œuvre et le manque de temps. »

« Ça prenait quelqu'un à temps plein pour les valider, donc là, ça va prendre du monde à temps plein. Parce que dans les petites organisations comme nous ou même dans les organisations plus grandes, les plus grandes villes souvent ils n'ont pas les moyens. Moi j'ai plus les moyens mais je n'ai pas de bras donc ça va se faire assister, c'est d'autre chose qu'il faut gérer. »

« Il y a les besoins et les priorités ainsi que des ressources limitées. C'est difficile de répondre facilement aux besoins. »

La ville de Beaconsfield n'est pas en mesure de gérer toutes les données qu'elle possède dû à un manque de ressources humaines. Il est nécessaire de penser à créer des postes en lien avec la gestion des données des actifs d'infrastructures urbaines afin de mettre en place une transformation numérique efficace sur le long terme.

Pratiques en cours

Tout comme les ressources humaines, les pratiques en cours représentent 7,3% des freins. C'est un frein important car il permet d'identifier les problèmes présents dans la ville par rapport à ce qui se fait au niveau de la transformation numérique.

« Depuis que je suis arrivé ici, j'ai trouvé qu'il n'y'a pas vraiment de plan ou de croquis, on essaie d'améliorer, on essaie de faire des cartouches, la légende mais ça prend du temps, d'accord ? »

« Le département TI est jeune encore, ça fait peut-être 3 ou 4 ans qu'on a un directeur TI. »

La ville de Beaconsfield utilise encore beaucoup de papier dans ses procédures, comme par exemple, pour l'octroi des permis. Cependant, il existe une volonté de diminuer, voire d'éliminer le papier et d'utiliser des outils numériques à la place. De plus, Beaconsfield dépend encore beaucoup de la ville de Montréal au niveau des données et de leur traitement. Un répondant fait référence à cela en disant « c'est eux (Montréal) qui ont le plus d'expérience, on se sert de leur expertise ». Ainsi, le manque d'expertise fait que Beaconsfield traite ses données à l'externe, ce qui crée une autre dépendance.

Commentaires et recommandations

L'analyse des freins a fait émerger plusieurs extrants, notamment : « Politique et soutien des élus », « Guides et lignes directrices », ainsi que « Nouvelles technologies et outils collaboratifs ». Il est nécessaire d'effectuer une vérification auprès des autres approches afin de prendre la décision de garder ou non les sous-catégories dans le cadre.

Le temps est un indicateur qui revient très souvent dans les entrevues. Il concerne à la fois le rythme sur le long terme, mais aussi le cycle de vie des actifs. Pour la plupart des enquêtés, le temps est un frein car la ville en manque, les employés n'ont pas assez de temps, la gestion se fait déjà en urgence. Par conséquent, ajouter la mise en place de la transformation numérique avec l'effectif présent à ce jour, ce n'est pas possible. Les procédures administratives à mettre en place afin de réaliser une transition vers le numérique sont longues et chronophages.

Un autre frein important à mentionner est le manque d'expertise, il représente 5,2%, mais les enquêtés reconnaissent son impact. Le manque de personnel qualifié ralentit le processus de mise en place de la transformation numérique à Beaconsfield. Il est nécessaire soit d'embaucher des personnes qualifiées, soit de former les employés actuels.

Tout comme le manque d'expertise, la terminologie est un frein avec un très grand impact, bien que son pourcentage d'occurrences dans les entrevues soit faible. Il est donc nécessaire de mettre en place un lexique pour définir de façon uniforme les actions de la transformation numérique à mener.

La sous-catégorie « Collaboration » est moins représentée que ce que les chercheurs auraient pensé de prime abord. La gestion en silo des différents départements ne semble pas être un frein pour la ville de Beaconsfield et parfois c'est même une volonté afin d'avancer plus rapidement. Toutefois, il y a une différence entre les perceptions et les analyses.

6.5.3.5 Encodage des sentiments

Méthodologie

Les chercheurs détectent les sentiments, évaluent et classent leurs unités de texte de façon manuelle. Ils les encodent avec NVivo en positif et négatif afin de comprendre les ressentis et opinions des personnes interrogées. Ensuite, un score est appliqué en fonction du sentiment exprimé. Les chercheurs observent aussi le gestuel des répondants ainsi que l'intonation de leur voix. Ils revoient les enregistrements vidéo des entrevues au besoin, car parfois les appréciations sont mitigées ou ambivalentes. La Figure 6.9 montre le ressenti des répondants de Beaconsfield en fonction des questions posées.

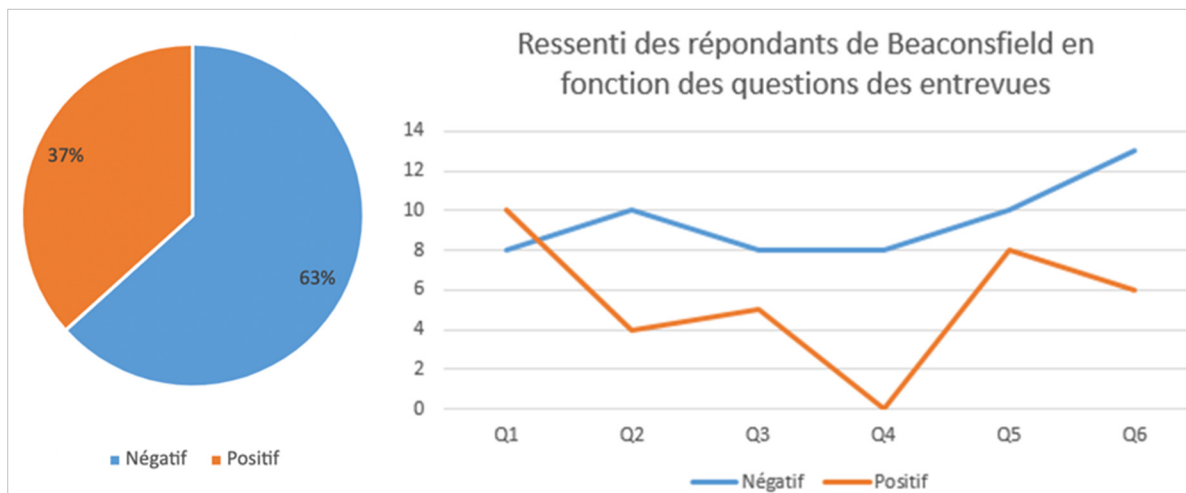


Figure 6.9 Portion et analyse des sentiments en fonction des questions des entrevues

Voici un rappel des questions posées :

Question 1 : En quoi consiste la transformation numérique des actifs bâtis de votre municipalité ?

Question 2 : De quelles manières votre municipalité a modifié sa réglementation, ses politiques ou ses documents contractuels pour faciliter la mise en œuvre du numérique ?

Question 3 : Veuillez expliquer comment les processus /pratiques / gestion ont été transformés par le numérique?

Question 4 : Votre municipalité a-t-elle mise en place une structure particulière pour supporter la transformation numérique ?

Question 5 : Quel est l'impact de la transformation numérique des actifs bâtis sur les employés ? Et les services offerts aux citoyens ?

Question 6 : Comment la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines a impacté l'écosystème numérique de la municipalité ?

Le nombre de réactions négatives est nettement plus important que les réactions positives (63% de ressentis négatifs lors des entrevues). Les sentiments négatifs regroupent la peur, la frustration, l'incompréhension, la colère et la réticence. Les sentiments positifs, quant à eux, désignent la joie, l'espoir, la motivation et l'envie.

À la Q1 sur la définition et la vision de la transformation numérique, les ressentis sont partagés, mais le nombre de réponses positives est légèrement supérieur. Cela démontre un optimisme par rapport à la transformation numérique de la ville de Beaconsfield, même si la définition et la vision de la transformation numérique ne sont pas toujours bien comprises ou complètes. Les ressentis négatifs représentent un manque de discernement ou une incompréhension face à la transformation numérique, également une définition complètement erronée ou une vision limitée.

La Q2 concerne les réglementations et les politiques modifiées pour faciliter la mise en œuvre de la transformation numérique. Les changements n'ont pas été faits encore et sont parfois attendus avec impatience pour pouvoir avancer plus efficacement. C'est pour cela que les ressentis sont beaucoup plus orientés vers le négatif. Les ressentis s'apparentent à de l'impatience, de la frustration ou encore de la colère en voyant que les choses ne changent pas assez rapidement.

Q3 : Les processus n'ayant pas été beaucoup modifiés, les ressentis négatifs sont plus nombreux. Cependant, les réactions positives sont aussi présentes et renvoient aux avantages de la mise en place de la transformation numérique.

« C'est sûr que ça va être avantageux, je veux dire y a plein d'avantages, on ne peut pas tous les nommer mais juste dans le cadre de ce qu'on fait actuellement, on voit déjà le fruit de notre travail de cette transformation-là. »

Q4 : La réponse est sans appel, rien n'est mis en place pour supporter la transformation numérique à la ville de Beaconsfield. Toutes les réponses sont négatives. Les enquêtés expriment de la frustration par rapport à cela. Le fait que rien ne soit mis en place ralentit considérablement l'organisation.

« Ça n'avance pas, on n'a pas l'impression que ça avance. »

Q5 : Concernant l'impact de la transformation numérique sur les employés et les citoyens, les avis sont partagés. Les ressentis positifs portent sur les bénéfices de la transformation numérique, et comment elle pourrait aider à une meilleure gestion des actifs d'infrastructures urbaines. Les ressentis négatifs portent, quant à eux, sur une résistance au changement liée au manque de connaissance face au numérique.

Q6 : La ville de Beaconsfield n'a pas configuré son écosystème numérique, car les outils existants ne sont pas adaptés à la mise en place d'une transformation numérique efficace. Cela se ressent dans les réponses des enquêtés qui trouvent que les outils existants sont anciens, ne sont pas interopérables, et chaque département utilise des outils adaptés à son besoin particulier. Parfois quand les outils sont aux bénéfices de différents départements, rien n'est fait pour que les données soient utilisables par tous les acteurs. Ce qui augmente les délais de traitement et la frustration chez les employés.

Conclusion de l'analyse des sentiments

À Beaconsfield, l'évocation de la transformation numérique entraîne des sentiments pluriels, à la fois un peu de résistance au changement, mais aussi et de façon plus importante, une volonté et un optimisme face à la transformation numérique. Cependant, la lenteur de la mise en place entraîne de la frustration chez les employés. Certains membres de la direction ont envie de cette transformation numérique, mais ils sont encore trop tournés vers des résultats à court ou à moyen terme qu'ils ne mettent pas en place des initiatives efficaces. Même les employés, qui comprennent la vision et qui connaissent les étapes à suivre, ne peuvent pas devenir des têtes de proue de la transformation numérique car il leur manque le savoir, ce qui accentue la frustration. Personne à Beaconsfield n'a, à la fois, la vision, le savoir, la connaissance et l'ordre des étapes à suivre.

6.5.4 Conclusion des entrevues

Le Tableau 6.6 résume les réponses aux objectifs des entrevues selon les approches d'analyse utilisées, soit : l'analyse lexicale, l'encodage selon les questions, l'encodage selon les catégories du cadre et l'encodage des sentiments.

Tableau 6.6 Réponses aux objectifs des entrevues

Objectifs du sondage	Réponses aux objectifs
Dresser un portrait global des efforts de la transformation numérique dans le milieu municipal québécois et canadien.	Il y a une volonté des employés de la ville d'aller vers la transformation numérique mais le manque de connaissance et de vision empêche d'entreprendre un processus systémique et structuré.
Identifier les freins et défis de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines (bâtiments + infrastructures urbaines) auxquels sont confrontées les villes canadiennes.	Les freins qui ont été catégorisés dans le cadre ont été justifiés et confirmés dans les réponses aux entrevues.
Comprendre la structure organisationnelle en place et s'il y a des initiatives prises ou pensées pour mener le changement organisationnel.	Il n'y a pas de structure organisationnelle mise en place par la ville. Il n'y a pas de plan précis pour fédérer les initiatives.
Comprendre la portée de la stratégie de la transformation numérique des actifs d'IU dans la ville et cerner les lacunes et impacts sur les éléments suivants :	Il n'existe pas de plan stratégique concernant la transformation numérique.
- la réglementation, les politiques et contrats	Il y a un besoin de changement dans la réglementation, ce besoin est identifié par certains employés.
- les processus et pratiques en cours	Rien n'est mis en place pour accueillir la transformation numérique.
- les ressources humaines	Le manque de ressources humaines est un frein très important pour la ville de Beaconsfield. Il est nécessaire de palier à ce manque ainsi qu'au manque d'expertise.
- l'écosystème numérique de la ville	L'écosystème numérique de la ville est non adapté au contexte actuel de la transformation numérique, il nécessite une revue systémique et un environnement de données commun.

6.6 Ateliers

6.6.1 Méthodologie et profil des répondants aux ateliers

Deux ateliers d'une durée de 90 minutes chacun a été réalisé auprès de 18 employés de la ville de Beaconsfield. L'atelier est resté ouvert et le chercheur est resté disponible afin que les employés puissent accéder et bonifier leurs réponses. Les données recueillies ont été analysées selon un cadre développé lors de la recherche du Chapitre 4. Les objectifs des ateliers étaient de dresser un portrait général de la ville en matière de compétences afin de soutenir la transformation numérique, d'identifier les enjeux et les freins et d'identifier les priorités.

Les ateliers se sont déroulés à distance, par visio-conférence sur la plateforme Zoom, étant donné la situation d'urgence sanitaire. Lors des ateliers, les personnes participantes ont été séparées en trois sous-groupes dont un encadreur/facilitateur de l'équipe de recherche dans chaque sous-groupe. Les participants écrivaient sur des post-it dans la plateforme Miro, un environnement de tableau blanc interactif en ligne (Figure 6.10).

Dix-huit (18) employés de la ville de Beaconsfield ont participé à l'atelier. Ils représentaient les départements suivants : direction Travaux publics, service Technologie de l'information, division Géomatique, division Technologie informatique, division Culture et Loisirs, Greffe et Affaires publiques, direction Bibliothèque, Aménagement urbain et Patrouille municipale.

Lors de l'atelier, les participants ont discuté et répondu aux questions suivantes :

1. Comment envisagez-vous la transformation numérique de Beaconsfield ? Quels sont vos besoins et enjeux ?
2. Quels sont les besoins prioritaires par axe (impact/valeur et effort) ?

6.6.2 Résultats, constats et conclusions de l'analyse des ateliers: Question 1

La première partie des ateliers concerne l'identification des freins et enjeux en lien avec la transformation numérique de Beaconsfield à travers des discussions de groupe. Chaque groupe a énoncé des actions nécessaires à la transformation numérique selon leur compréhension. Le résultat (Figure 6.10) est ajusté immédiatement après l'atelier en étant le plus fidèle possible, incluant les termes les plus précis mais aussi les fautes de langage.

Des rapporteurs désignés ont partagé le résultat des discussions en plénière. À la suite de l'atelier, les réponses des participants ont été consolidées et catégorisées selon le cadre. Les résultats ont ainsi servi d'appui pour valider ce cadre. Les réponses à la question 1 de l'atelier ont été regroupées selon les catégories et sous-catégories du cadre du projet dans le Tableau 6.7.

Figure 6.7 Occurrence des freins tirés des ateliers selon le cadre

Catégories et sous catégories	Nbre de réponses ville A	% de réponses ville A	Réaction
Stratégie/Gouvernance/Pilotage	3	4,62%	
Vision systémique	2	3,08%	
Plan stratégique	0	0,00%	Extrant
Financement	0	0,00%	Extrant
Pilotage et coordination	0	0,00%	Extrant
Pression externe	1	1,54%	
Processus/Pratique/Gestion	26	40,00%	
Collaboration	3	4,62%	
Pratiques en cours et gestion	3	4,62%	
Gestion de données	20	30,77%	Classé 1: % grand
Organisation / Structure / Culture	10	15,38%	
Gestion du changement structurel et / ou organisationnel	1	1,54%	
Communication	1	1,54%	
Formation	3	4,62%	
Expertise interne / Niveau de maturité	2	3,08%	
Culture de l'organisation	3	4,62%	
Politiques / Normes /Réglementations /Lois / Contrats	7	10,77%	
Politique et soutien des élus	1	1,54%	
Normes et contrats	2	3,08%	
Guides et lignes directrices	3	4,62%	
Lois et réglementations	0	0,00%	Extrant
Terminologie	1	1,54%	
Personnes /Communauté / Réseau	6	9,23%	
Leadership / Champion	0	0,00%	Extrant
Résistance au changement	1	1,54%	
Ressources humaines	5	7,69%	Classé 3: % grand
Technologie /Ecosysteme numérique / Informationnel	11	16,92%	
Technologies et outils existants	7	10,77%	Classé 2: % grand
Nouvelles technologies et outils collaboratifs	4	6,15%	
Intrants	2	3,08%	
Gestion des actifs	2	3,08%	
Indicateurs	0	0,00%	
Rythme / cycle de vie / long terme	0	0,00%	Extrant
Grand total	65	100,00%	

Le frein le plus important tiré des ateliers est la « Gestion de données » représentant 30% des réponses totales. Le deuxième plus grand frein est les « Technologies et outils existants »

représentant 10% des réponses totales. Le troisième plus grand frein est les « Ressources humaines » constituant 7% des réponses totales.

Pour la « Gestion de données », l'enjeu principal, selon les items classés, est l'accessibilité aux données. Retrouver et accéder aux données semblent être un défi majeur selon les ateliers puisque les données ne sont ni centralisées ni présentées avec une méthodologie uniforme. De plus, la qualité des données est toujours remise en question puisque celles-ci ne sont pas traitées de manière régulière.

Pour ce qui est des « Technologies et outils existants », l'enjeu principal selon les résultats des ateliers est le manque de systèmes adaptés aux besoins des employés. Les technologies interactives, par exemple, pour présenter visuellement les données cartographiques géoréférencées ne sont pas encore mises en place et les systèmes existants ne sont pas interreliés ou accessibles aux individus concernés.

Quant aux « Ressources humaines », l'enjeu principal selon les items classés est le manque d'équipe dédiée à la transformation numérique. Les employés sont affairés à leurs propres tâches et ne sont pas en mesure d'entamer des initiatives reliées à la transformation numérique.

Les catégories et sous-catégories pouvant être considérées comme extrants, selon le cas de Beaconsfield, sont celles qui ne contiennent aucune réponse lors des ateliers, à savoir : « Plan stratégique », « Financement », « Pilotage et coordination », « Lois et réglementations », « Leadership/Champion », « Rythme/cycle de vie/long terme ». Cependant, en l'absence de plan stratégique lié à la transformation numérique et la nécessité de document papier pour les projets requis par le BEAC-045, le « Plan stratégique » et les « Lois et réglementations » ne devraient pas être considérés comme des extrants. Une vérification auprès des autres méthodes d'analyse (entrevues, sondage, etc.) est donc nécessaire pour affirmer ou infirmer que les catégories et sous-catégories constituant 0% de réponses sont des extrants.

La « Gestion des actifs » est un intrant mineur constituant 3% des réponses, mais sa valeur est importante. Ne pas connaître ce qu'est la gestion des actifs est un enjeu principal.

6.6.3 Résultats, constats et conclusions de l'analyse des ateliers : Question 2

La deuxième partie de l'atelier concerne la priorisation des actions soulevées lors de la première partie de l'atelier. Chaque groupe a classé les enjeux respectifs selon l'effort nécessaire pour entreprendre l'action et la valeur accordée à l'action en lien avec la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines de la ville.

Après avoir récolté les résultats de cet deuxième atelier (sans toucher au contenu et en incluant les fautes de langage), le chercheur a séparé les axes en six (6) niveaux afin de mieux quantifier les résultats. La priorisation des actions de chaque groupe est présentée dans les Figures 6.11, 6.12 et 6.13.

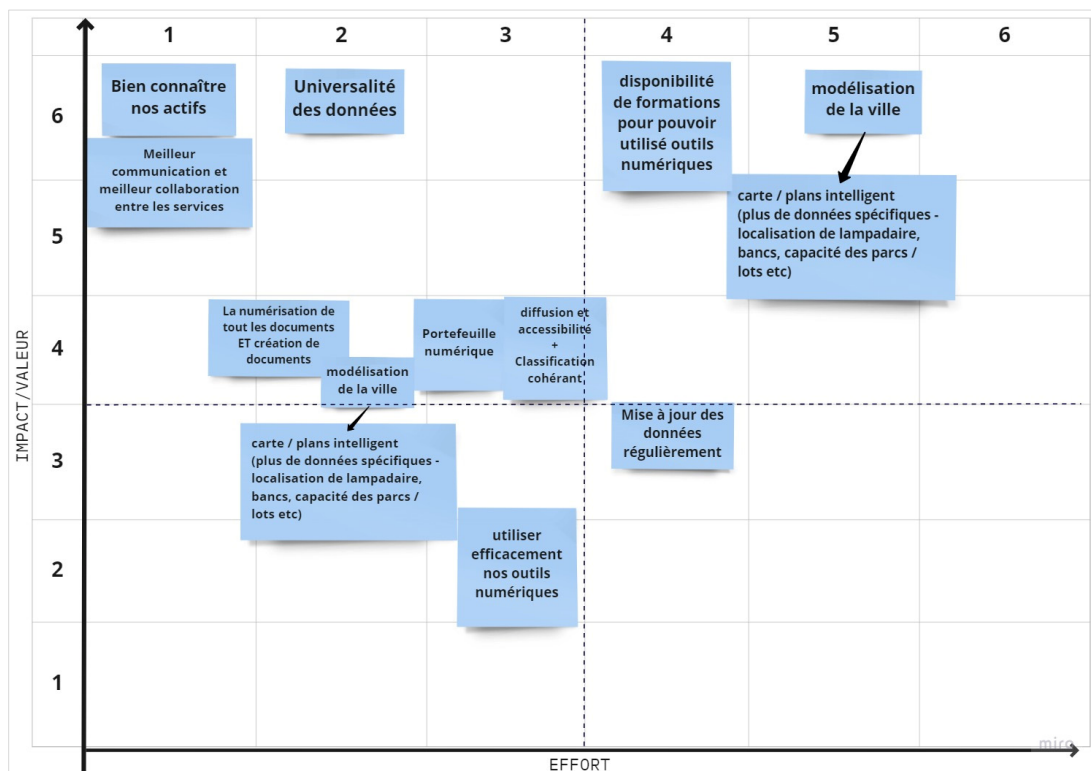


Figure 6.11 Priorisation des actions par le groupe 1

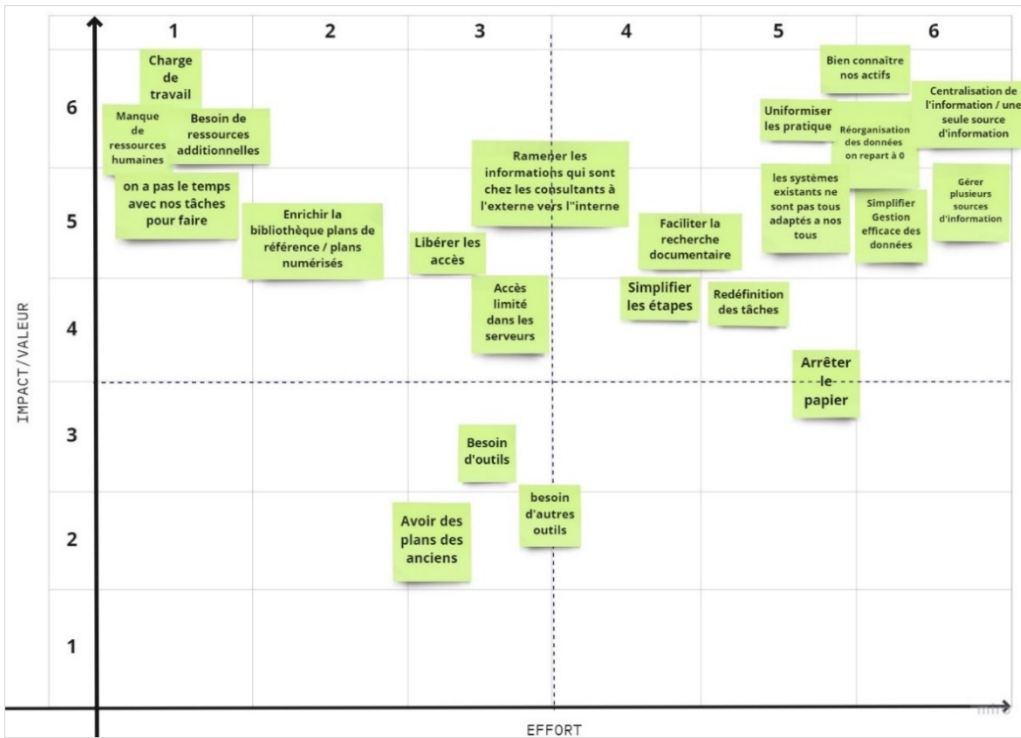


Figure 6.12 Priorisation des actions par le groupe 2

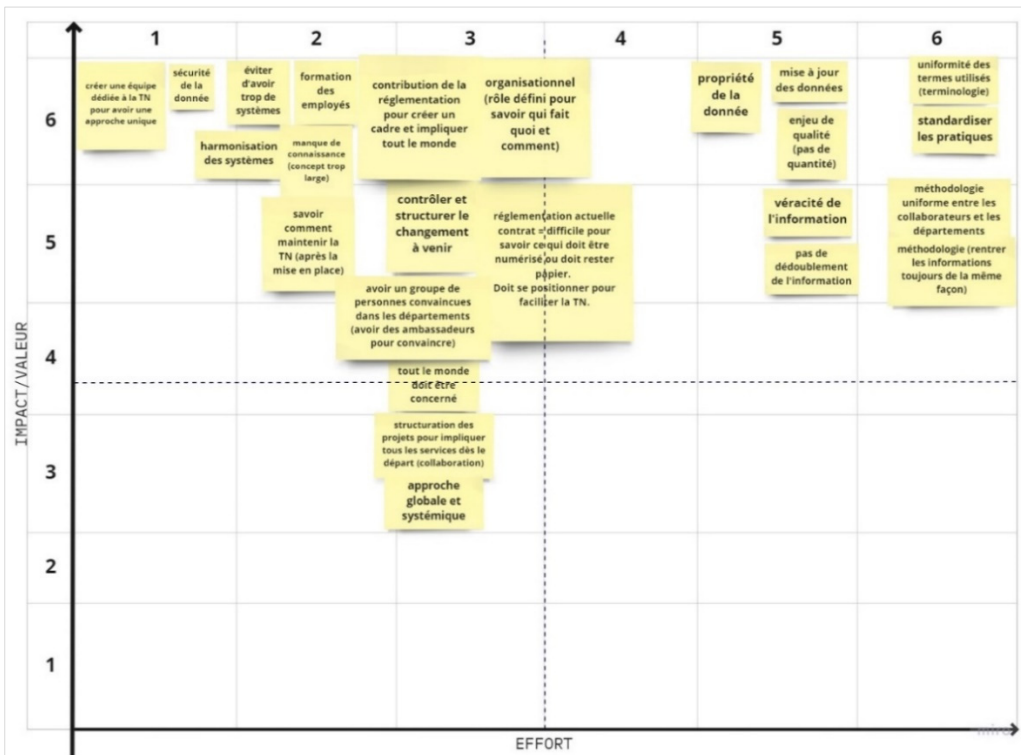


Figure 6.13 Priorisation des actions par le groupe 3

La priorité pour le groupe 1 est la disponibilité de formation. Les actions reliées à cet enjeu sont classées au niveau 6 pour la valeur, et au niveau 4 pour l'effort (Figure 6.11). Bien que le groupe 2 accorde un niveau 1 pour l'effort associé à cet enjeu (Figure 6.12), cet enjeu est toujours classé au niveau 6 pour la valeur et demeure pertinent.

La priorité pour les groupes 2 et 3 est la gestion des données puisque les actions associées à cet enjeu sont classées aux plus hauts niveaux d'effort et de valeur, soit les niveaux 5 et 6 dans les Figures 6.12 et 6.13. Ceci valorise l'effort majeur requis pour effectuer les tâches reliées à la gestion des données ainsi que leur contribution importante à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. Cependant, pour le groupe 1, l'enjeu de la gestion des données n'est pas considéré majeur puisque les tâches de cette catégorie sont réparties à travers tous les niveaux d'effort et de valeur dans la Figure 6.11. En moyenne, le niveau 4 peut être associé avec les deux axes de ces actions.

La création d'équipe dédiée à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines est un autre enjeu majeur mis en évidence par les groupes 2 et 3 dans les Figures 6.12 et 6.13. Les actions reliées à cet enjeu sont classées au niveau 1 pour l'effort et au niveau 6 pour la valeur. De ce fait, peu d'effort est nécessaire pour entreprendre ces actions mais l'impact sera majeur sur la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines.

Finalement, la fiabilité de la deuxième partie des ateliers est limitée par l'expertise et la connaissance des répondants sur la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. La première partie de l'atelier a également fait ressortir le manque de cette connaissance. Aussi, cette première partie a fait le constat de niveau de maturité bas par rapport à la gestion des actifs, d'un côté, et à la gestion de l'information d'un autre côté. En effet, les trois groupes sont constitués de divers employés de la ville incluant des directeurs, des cols bleus et des cols blancs appartenant à différents départements. Puisque les répondants n'ont pas une connaissance identique sur le domaine, les réponses varient grandement selon la constitution du groupe. Un groupe ayant une meilleure compréhension

de la transformation numérique de la ville de Beaconsfield soulèvera des enjeux différents qu'un groupe avec une moins bonne connaissance de la transformation numérique.

D'autre part, la méthode présentée semble limitée puisque les tâches sont reliées par seulement leur impact/valeur et leur effort. L'indicateur « temps » n'est pas mis en évidence, c'est-à-dire la priorisation des actions dans le temps. Ce qui peut nuire au bon déroulement des actions à entreprendre puisqu'un effort majeur ne correspond pas nécessairement à une longue durée de travail.

6.6.4 Conclusion des ateliers

Le Tableau 6.8 vient conclure cette section en répondant aux objectifs des ateliers.

Tableau 6.8 Réponses aux objectifs des ateliers

Objectifs des ateliers	Réponses aux objectifs
Aligner les personnes participantes sur les notions de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines.	La définition de la transformation numérique et de la gestion des actifs par les participants ressemble à des morceaux de casse-tête éparpillés et mélangés. Les ateliers ne sont pas suffisants pour les aligner.
Dégager la vision et les orientations pour la transformation numérique.	La vision de Beaconsfield sur la transformation numérique n'est pas claire et n'est pas commune à tous les employés de la ville. Bien que le potentiel de la transformation numérique soit reconnu, la ville manque d'expertise et de ligne directrice pour entreprendre la transformation numérique.
Identifier les actions entreprises et/ou en cours en termes de transformation numérique.	Quelques actions sont identifiées alors que d'autres ne sont pas connues par les employés. Ce qui nécessite des efforts supplémentaires de la part des chercheurs afin d'identifier d'autres actions et de guider les employés pour les connaître et les entreprendre.
Comprendre les enjeux et les freins à cette transformation.	À travers les ateliers, les participants ont fait ressortir plusieurs freins communs liés à la transformation numérique dont les principaux sont : la gestion des données, les technologies et outils, ainsi que les ressources humaines.

6.7 Analyse documentaire

6.7.1 Méthodologie de la recherche documentaire

L'analyse documentaire cible les documents utilisés par la ville qui sont en lien de près ou de loin avec le sujet de recherche afin de détecter les enjeux et les freins à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. Cette documentation inclut les politiques, directives, procédures, plans stratégiques, plans directeurs, guides, normes et standards, rapports, lois, règlements, politiques et autres, en lien avec la transformation numérique et la gestion des actifs.

Le chercheur a sollicité plusieurs dirigeants et employés de différents départements (le directeur général, l'adjointe exécutive et la greffe adjointe, le chef de section Technologie de l'Information, la directrice des Travaux Publics, etc.) afin d'acquérir cette documentation. Initialement, le chercheur a communiqué uniquement avec le chef de section Technologie de l'Information et la directrice du département Travaux Publics par courriel pour connaître les responsables de la ville ayant accès à ces documents. Le contact avec les autres responsables travaillant dans le département Travaux publics s'est fait en présentiel selon leurs disponibilités. Le chercheur, étant installé dans le département Travaux Publics, a communiqué avec les autres départements, principalement par courriel.

Pour compléter la recherche documentaire, la demande d'une liste des politiques/directives/procédures, ainsi qu'une liste des règlements a été effectuée auprès de l'adjointe exécutive en collaboration avec le technicien en documentation et archives. L'acquisition de cette liste, qui incluait les dates de création et de mise à jour des documents, a permis de mieux cibler les documents analysés et ceux qu'il restait à obtenir.

Quelques documents ont été obtenus, tels que la procédure d'archivage 2015, le plan stratégique 2007, l'analyse de la situation actuelle sur la géomatique 2020. La compilation des documents n'était toutefois pas suffisante, il a donc fallu confirmer et valider la version la plus récente de chaque document avant toute analyse. Quant au portrait général de la ville,

plusieurs informations obtenues n'avaient pas d'appui documentaire et ont dû être confirmées avec des sources externes. Ensuite, pour obtenir les plans directeurs et d'actions de la ville, ainsi que des exemples de contrats, une recherche préliminaire dans le dossier partagé avec les Travaux Publics a été entamée. Seuls les documents reliés à la transformation numérique et la gestion des actifs ont été mis en évidence et retenus pour des analyses plus détaillées. Pour valider ces documents, la confirmation écrite des responsables a été nécessaire (la directrice du département Travaux Publics, le contremaître des Parcs et le chef de section de projet dans le département Travaux Publics).

Parmi les nombreux documents analysés, seulement quelques-uns concernaient la transformation numérique ou la gestion des actifs. Les documents ciblés sont classés dans la Figure 6.14 selon leurs dates de création. Dans la documentation existante, les passages de textes reliés à la transformation numérique ou la gestion des actifs ont été ressortis et analysés selon le cadre de la recherche.

Afin d'obtenir la valeur des actifs d'infrastructures urbaines de la ville de Beaconsfield, des correspondances avec la greffe adjointe et la directrice du département Travaux Publics ont été effectuées. Alors que les valeurs des parcs et des bâtiments proviennent de la dernière évaluation aux fins d'assurance, la valeur des infrastructures d'eau sont des estimations présentées dans un rapport d'une firme externe.

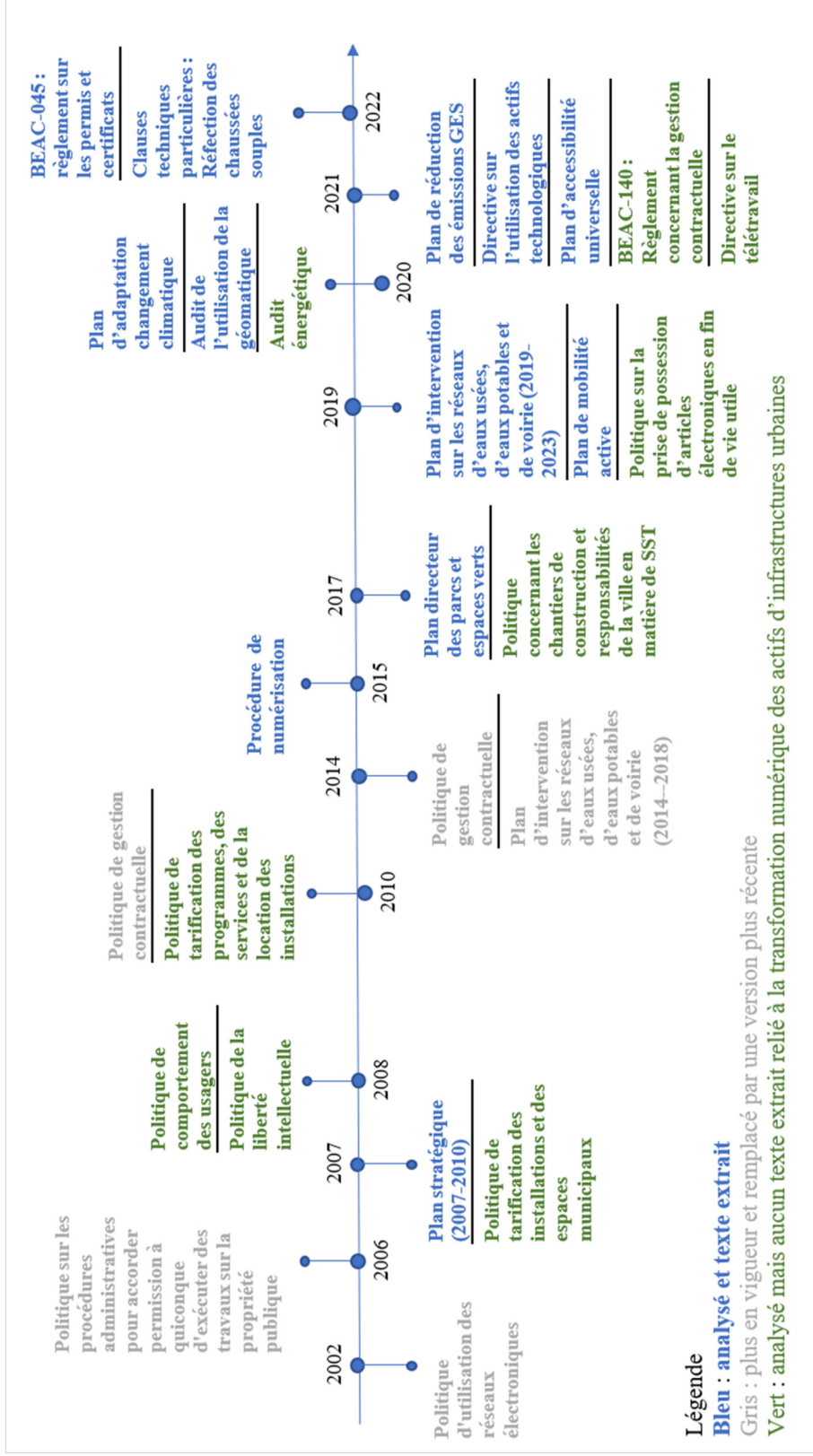


Figure 6.14 Chronologie et documents analysés

6.7.2 Résultats, constats et conclusions de la recherche documentaire

Après la lecture et l'analyse documentaire, un premier constat s'impose : l'absence marquante de la documentation appuyant ou guidant cette transformation numérique. Une seule directive intitulée « Utilisation des actifs technologiques » est liée à la transformation numérique et encadre les responsabilités générales de la section Technologie de l'Information.

Pour les réglementations, après avoir discuté avec le service de greffe et parcouru la liste des règlements BEAC, il a été constaté que ceux-ci concernaient majoritairement les tarifs, les taxes et les emprunts d'argent pour des projets de la ville. Le seul règlement en lien avec la transformation numérique est le BEAC-045 qui touche l'inspection des bâtiments et l'émission des permis et certificats, mais exige le format papier dans la plupart des cas.

Concernant le plan stratégique de la ville, il date de 2007, et n'a pas été mis à jour depuis. Celui-ci ne contient aucune ligne directrice liée à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. Sinon, il n'existe pas de plan stratégique spécifique associé à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. Bien qu'un document sur la numérisation existe, celui-ci concerne plutôt la méthode à suivre pour l'archivage des documents selon Beaconsfield (2015) et n'est pas directement lié à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines.

Lors de la recherche des documents, il est facile d'accéder aux documents concernant la gestion d'actifs d'infrastructures urbaines puisque le département des Travaux publics gère la majorité de ces actifs, et la directrice a une bonne connaissance des documents disponibles. Pour les réglementations ou les politiques de la ville, l'adjointe exécutive est au courant de la présence de ces documents et possède une liste sommaire indiquant l'utilité de chacun. Cependant, certains documents ont dû être recherchés puisqu'ils ne se trouvaient pas dans le dossier de partage pour tous les employés de la ville. De plus, très peu de politiques et directives sont reliées à la gestion d'actifs d'infrastructures urbaines et de transformation numérique.

Concernant les politiques, directives et procédures, les documents sont majoritairement datés et n'ont aucun lien avec la transformation numérique.

6.7.3 Résultats, constats et conclusions de l'encodage documentaire

Les passages des textes ressortis des documents ont été regroupés selon les catégories et sous-catégories du cadre de la recherche au Tableau 6.9.

La « Gestion de données » et la « Communication » sont les deux freins les plus importants, représentant chacun 18,4% des réponses totales. Le frein de « Guides et lignes directrices » est classé deuxième en pourcentage, ainsi que celui de la « Gestion des actifs » qui est un intrant.

Pour la « Gestion de données », l'enjeu principal selon les documents analysés est l'accessibilité aux données fiables. Les données ne sont pas centralisées et en l'absence de « documentation claire quant à l'existence et à la nature des données, il devient pratiquement impossible de connaître ou de trouver la version la plus à jour » (K2 Geospatial, 2020) ce qui rend le processus de recherche lent et fastidieux. De plus, le processus de mise à jour des données sur les infrastructures urbaines est effectué par « la section du Génie puis envoyé à la Ville de Montréal qui met des années à la corriger et à la rendre disponible » (K2 Geospatial, 2020), ce qui freine la diffusion des informations crédibles. Ces deux facteurs rendent la gestion de données inefficace et difficile pour les responsables.

Tableau 6.9 Résultats de l'analyse documentaire

Catégories et sous catégories	Nbre de références	% de réponses	Réaction
Stratégie/Gouvernance/Pilotage	11	8,1%	
Vision systémique	1	0,7%	
Plan stratégique	1	0,7%	
Financement	1	0,7%	
Pilotage et coordination	1	0,7%	
Pression externe	7	5,1%	
Processus/Pratique/Gestion	32	23,5%	
Collaboration	4	2,9%	
Pratiques en cours et gestion	3	2,2%	
Gestion de données	25	18,4%	classé 1 : % grand
Organisation / Structure / Culture	40	29,4%	
Gestion du changement structurel et / ou organisationnel	2	1,5%	
Communication	25	18,4%	classé 1 : % grand
Formation	5	3,7%	
Expertise interne / Niveau de maturité	8	5,9%	
Culture de l'organisation	0	0,0%	Extrant ?
Politiques / Normes / Réglementations / Lois / Contrats	25	18,4%	
Politique et soutien des élus	0	0,0%	Extrant ?
Normes et contrats	5	3,7%	
Guides et lignes directrices	12	8,8%	classé 2 : % grand
Lois et réglementations	7	5,1%	
Terminologie	1	0,7%	
Personnes / Communauté / Réseau	3	2,2%	
Leadership / Champion	0	0,0%	Extrant ?
Résistance au changement	0	0,0%	Extrant ?
Ressources humaines	3	2,2%	
Technologie / Ecosystème numérique / Informationnel	11	8,1%	
Technologies et outils existants	8	5,9%	
Nouvelles technologies et outils collaboratifs	3	2,2%	
Intrants	12	8,8%	
Gestion des actifs	12	8,8%	classé 2 : % grand
Indicateurs	1	0,7%	
Rythme / cycle de vie / long terme	1	0,7%	
Total général	136	100,0%	

Pour ce qui est de la « Communication », l'enjeu principal selon la documentation est le manque de partage d'information avec les parties prenantes de la ville. En effet, le site web de Beaconsfield offre peu d'informations aux citoyens, surtout quant aux ressources disponibles pour signaler des problèmes d'infrastructures comme l'affaissement de résidences ou le refoulement d'égouts. De plus, le site web est « difficile de naviguer [...] et de localiser les informations qui les intéressent » (Ville de Beaconsfield, 2018) ce qui freine la diffusion d'informations adéquates.

Pour la « Gestion des actifs », l'enjeu principal selon la documentation est le manque d'expertise interne quant à l'analyse des infrastructures urbaines pour déterminer leur état. Un appel à l'externe est souvent requis pour réaliser des analyses détaillées et pour déterminer la priorisation des actifs à rénover ou à maintenir. Par exemple, la ville de Beaconsfield a dû mandater la firme Planifika pour « obtenir un plan directeur de maintien d'actifs portant sur les bâtiments qu'elle occupe ou loue à des organismes » (Planifika, 2018).

Pour les « Guides et lignes directrices », l'enjeu principal selon la documentation est le manque de guides. Par exemple, les politiques de la ville ne présentent que de manière globale les besoins et les responsabilités de la section TI, tels que « supporter et accompagner les services et usagers dans leurs projets » (Beaconsfield, 2021b). Ce manque nuit à l'organisation des données et empêche la « gestion efficace de toutes les transactions entreprises avec les données » (K2 Geospatial, 2020).

Les catégories et sous-catégories pouvant être considérées comme extrants sont celles qui ne contiennent aucune réponse selon la documentation: « Culture de l'organisation », « Politique et soutien des élus », « Leadership/Champions », « Résistance au changement ». Une vérification auprès des autres méthodes d'analyse (sondage, ateliers, etc.) est donc nécessaire pour affirmer ou infirmer que les catégories et sous-catégories constituant 0% des réponses sont des extrants.

6.7.4 Conclusion de l'analyse documentaire

Le Tableau 6.10 vient conclure cette section en répondant aux objectifs de l'analyse documentaire.

Tableau 6.10 Réponses aux objectifs de l'analyse documentaire

Objectifs de l'analyse documentaire	Réponses aux objectifs
Cartographier la documentation existante concernant la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines.	Chaque actif d'infrastructure urbaine (bâtiment, parcs, réseaux d'aqueducs et d'eaux usées) est associé à un plan directeur unique. Plusieurs autres plans sont partiellement reliés à la gestion des actifs d'infrastructures urbaines, ciblant l'adaptation aux changements climatiques, à la mobilité réduite, aux changements démographiques, etc. Il n'y a aucune documentation trouvée qui concerne directement la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines.
Identifier les lacunes dans la documentation existante concernant de près ou de loin la transformation numérique.	Selon l'encodage de l'analyse documentaire, les freins principaux sont la gestion des données, la communication ainsi que les guides et lignes directrices à la transformation numérique. La connaissance et le niveau de maturité de la gestion des actifs est un intrant de valeur majeur dans la documentation.
Détecter l'absence ou la présence de la documentation.	Il y a une absence marquante de documentation concernant la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines, par exemple : les normes et les guides. Il n'existe pas de plan stratégique pour la transformation numérique et le plan stratégique de la ville date de 2007 et ne concerne pas la transformation numérique.
Comprendre la portée de la stratégie de la transformation numérique des actifs bâtis dans la municipalité et son impact.	Il n'existe pas de stratégie de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines dans la ville de Beaconsfield. La documentation existante ne contient que quelques passages de texte en lien avec la transformation numérique. Une seule politique cible le processus d'archivage de document et contient seulement des passages de texte en lien avec la transformation numérique. La réglementation BEAC-045 est la seule réglementation qui contient des passages en lien avec la transformation numérique. Cependant, elle concerne principalement l'émission de permis et de certificats sous format papier. Une seule directive est liée à la transformation numérique mais ne fait qu'encadrer les responsabilités générales de la section TI. Les contrats de la ville n'ont pas été révisés pour s'aligner au contexte actuel de la transformation numérique, ils n'exigent que les données sous format Shapefile ou Excel.

6.8 Discussion

L'analyse des différentes méthodes permet d'identifier les freins redondants. De nombreux freins sont retrouvés dans plusieurs méthodes, ce qui confirme leur importance et la nécessité de mettre en place des actions pour les limiter. Le Tableau 6.11 présente les freins principaux issus des analyses et leur apparition dans les différentes méthodes.

Tableau 6.11 Apparition des freins dans les différentes méthodes d'analyse

Freins	Ateliers	Entrevues	Documentation	Sondage
Gestion de données	✓	✓	✓	-
Technologies et outils	✓	✓	✓	X
Ressources humaines	✓	✓	✓	✓
Communication	✓	✓	-	✓
Gestion des actifs	✓	✓	✓	-
Guides et lignes directrices	-	-	✓	✓
Pratiques en cours	✓	✓	✓	✓
Vision	X	✓	X	✓
Politique	✓	✓	✓	✓
Extrants	<ul style="list-style-type: none"> - Plan stratégique - Financement - Pilotage et coordination - Pression externe - Lois et réglementation - Leadership 	<ul style="list-style-type: none"> - Politique et soutien des élus - Guides et lignes directrices - Nouvelles technologies et outils collaboratifs. 	<ul style="list-style-type: none"> - Culture de l'organisation - Politique et soutien des élus - Leadership - Résistance au changement. 	-

L'utilisation des différentes méthodes de recherche a confirmé les différents freins. Ainsi, la classification générale des freins devient : Gestion de données, Technologies et outils et Ressources humaines. La gestion de données est à la fois identifiée comme frein principal dans les ateliers, les entrevues (encodage freins et lexical), mais aussi dans l'analyse documentaire. Le frein concernant les technologies et outils est lui aussi identifié dans les entrevues, les ateliers et la documentation.

La gestion en vase clos, évoquée par certains répondants n'est cependant pas identifiée comme un frein principal, mais elle reste un enjeu considérable à la mise en place de la transformation numérique. C'est un enjeu important, car le manque de collaboration et de communication entre les différents départements d'une ville ne permet pas de faire circuler les informations de manière efficace. De plus, les données ne sont pas partagées entre tous les acteurs, ce qui ralentit les processus. Il est donc nécessaire de mettre en place des initiatives de collaboration efficaces et adaptées.

Il existe une absence marquante de documentation à Beaconsfield, surtout du point de vue des guides et lignes directrices de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. Les documents actuellement utilisés comportent très peu de passages de texte en lien avec la transformation numérique. C'est un sujet qui n'est pas du tout considéré dans la ville au niveau de la documentation. Par exemple, la réglementation BEAC-045 est parmi les seules réglementations en lien avec la transformation numérique. Cependant, elle concerne principalement l'émission de permis et de certificats sous format papier. Il n'y a qu'une seule politique (Procédure de numérisation) qui cible le processus d'archivage des documents, mais elle ne contient que quelques passages en lien avec la transformation numérique. Il en est de même pour une directive (Directive sur l'utilisation des actifs technologiques) qui ne fait qu'encadrer les responsabilités générales de la section Technologie de l'Information.

Le manque de documentation a aussi mis en lumière l'absence d'utilisation de normes ainsi qu'un manque de terminologie unifiée facilitant l'échange et la compréhension entre les employés de la ville. En effet, le langage utilisé n'est pas fédéré et la ville est obligée de suivre une terminologie qui appartient à plusieurs parties prenantes externes. C'est pour ces raisons qu'il est nécessaire de créer un lexique, qui non seulement va uniformiser la terminologie des employés et des données numériques, mais va aussi fournir à chacun une définition, une explication ou une correspondance.

Les différentes analyses ont permis de démontrer que les méthodes utilisées sont complémentaires. Les entrevues, l'atelier et les sondages, qui se sont faits en contact direct

avec les employés, ont permis d'identifier des freins plus souvent liés à l'humain, tandis que la documentation a permis d'identifier les lacunes et les manques quant aux directives et aux politiques utilisées.

En outre, étant donné que la majorité des réponses au sondage est « Pas certain », ce type de réponse est problématique et peut être interprété de différentes manières. D'un côté, cela peut s'expliquer soit par un manque de connaissances des employés quant au sujet de l'enquête, un manque de compréhension des questions posées, un manque de communication entre les employés ou encore la gestion des départements en vase clos qui fragmente l'accès à l'information. D'un autre côté, lors des entrevues, l'abondante utilisation de la réponse « Pas certain » peut s'expliquer par un désir des employés de ne pas nuire à l'image de leur ville. En répondant « Pas certain » plutôt que « Non », les employés ne se montrent pas catégoriques et tentent d'en atténuer la réalité.

6.9 Conclusion

Comme dans tous les secteurs, le secteur public fait face à un rythme exponentiel des changements technologiques rapides modifiant la communication, la collaboration, les services offerts aux citoyens, etc. Le rythme accéléré de ces technologies puissantes et naissantes transforme radicalement l'organisation, de façon aléatoire ou planifiée d'avance, et posent des défis. Il est donc crucial que cette transformation soit bien gérée.

Les résultats montrent que malgré une volonté des dirigeants de la ville de Beaconsfield de se diriger vers la transformation numérique, les efforts fournis par la ville ne sont pas assez importants. Il y a très peu de résistance au changement, cependant il persiste beaucoup d'incompréhension autour du concept de la transformation numérique, ce qui crée un décalage dans les attentes et les visions des employés. La ville de Beaconsfield n'a pas encore entrepris une transformation numérique systémique et structurée. Le niveau de maturité numérique de la ville est encore trop faible pour supporter la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. Il n'y a pas de structure organisationnelle

mise en place par la ville. Il n'y a pas non plus de plan précis pour fédérer les initiatives. Il n'existe pas de plan stratégique pour la transformation numérique. Il y a un besoin identifié de modifier les politiques et les contrats afin de limiter l'utilisation du papier à Beaconsfield. Cependant, il semblerait que la mise en place de procédures entièrement numériques prenne du temps. Aucun processus ni pratiques clairs de transformation numérique ne sont mis en place.

Les résultats montrent qu'il y a un manque de personnel qualifié dans le domaine. La quantité de données à traiter est trop importante pour le personnel en place. L'écosystème numérique de la ville est basé sur les nécessités et le besoin particulier de chacun des départements séparément. Il existe des problèmes au niveau de l'interopérabilité des outils et de l'accès aux données entre les départements. Les résultats montrent que la classification générale des freins devient : Gestion de données, Technologies et outils et Ressources humaines.

Si les efforts de cette recherche ont permis de sensibiliser davantage la ville de Beaconsfield, il reste encore beaucoup à faire. Néanmoins, les enseignements tirés montrent que grâce aux approches à visée prescriptive, les approches à visée heuristique et les approches à visée pratique, les défis peuvent être minimisés et les opportunités offertes par les technologies peuvent être ainsi décuplées. Suivre un monde en mutation est la seule façon pour une ville de se distinguer en assurant sa résilience et la pérennité de ses infrastructures.

Enfin, le cadre est validé et modifié au contexte de la ville Beaconsfield. Ensuite, il a été aligné avec la feuille de route gouvernementale pour le BIM de Poirier & Lafioune (2021). Il est transformé ainsi en une feuille de route de transformation numérique pour la ville Beaconsfield au Tableau 6.12. Il est recommandé de suivre ses lignes directrices, enrichir ses actions et les prioriser en fonction des autres projets de la ville.

Tableau 6.12 Feuille de route de transformation numérique de la ville de Beaconsfield

		2023 - 2024	2024 - 2025	2025 - 2026	2026 - 2027	2027 - 2028	
Catégorie	Sous-catégorie	Proposition d'actions/pistes de solutions/ lignes directrices					Résultats
Stratégie / Gouvernance / Pilotage	Vision systémique	<ul style="list-style-type: none"> Élaborer une vision commune sur la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines et promouvoir cette vision à tous les niveaux et départements de la ville. 					Une vision partagée et communiquée.
	Plan stratégique	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier l'existence d'actions de transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines dans les plans stratégiques existants. 					Une stratégie claire et un plan d'action bien entrepris, encadrés et rigoureusement suivis.
	Financement	<ul style="list-style-type: none"> Concevoir une stratégie de mise en œuvre de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. 					
	Pilotage et coordination	<ul style="list-style-type: none"> Définir les activités (actions) de la stratégie. Planifier dans le temps ces activités. Appliquer des activités (actions) de la stratégie. 					
	Pression externe	<ul style="list-style-type: none"> Élaborer un plan stratégique ou adapter et enrichir celui en lien avec la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. Suivi des actions. Évaluer le rendement (reddition de comptes) quant aux activités de ce plan stratégique de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. Prévoir le financement de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines dans le Programme Triennal d'Immobilisations (PTI) pendant la planification du portefeuille des projets. Chercher et prévoir diverses sources de financement. 					
Collaboration	<ul style="list-style-type: none"> Réviser les processus/pratiques en cours et détecter ce qui accentue le travail en vase clos. Détecter et remettre en œuvre les approches de collaboration interdisciplinaire existantes dans la ville (ex. LEAN Management, PCI). Instaurer et incorporer des approches de collaboration interdisciplinaire. 					Des pratiques, processus et domaines de gestion harmonisés avec un flux d'information efficace permettant aux employés de générer un maximum de valeurs pour le citoyen.	
Pratiques en cours et gestion	<ul style="list-style-type: none"> Adhérer aux regroupements (ex. : comité, association) travaillant sur la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines ou sur des sujets connexes et développer des partenariats stratégiques. Définir les tâches et les activités pour initier, exécuter et analyser des projets de transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. 						
Processus / Pratique / Gestion/ Organisation / Structure / Culture							À suivre

Tableau 6.12 Feuille de route de transformation numérique de la ville de Beaconsfield

		2023 - 2024	2024 - 2025	2025 - 2026	2026 - 2027	2027 - 2024	
Catégorie	Sous-catégorie	Proposition d'actions/pistes de solutions/ lignes directrices					Résultats
Processus / Pratique / Gestion/ Organisation / Structure / Culture	Gestion de changement structurel et organisationnel	<ul style="list-style-type: none"> • Circonscrire et définir les nouveaux rôles et responsabilités soutenant la mise en œuvre de la transformation numérique sur l'ensemble du cycle de vie des actifs d'infrastructures urbaines. • Monter une équipe centrale qui valide l'ensemble des activités de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. • Préparer les critères de mesure et de suivi de la performance, de la maturité et de la capacité organisationnelle. 					<p>Des approches optimisées et soutenues par un processus d'amélioration continue: de la planification, à la réalisation et à l'entretien et au maintien sur le cycle de vie.</p> <p>Un changement cadré, structuré et organisé.</p> <p>Une montée en compétence et en capacité pour réussir la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines.</p>
	Communication	<ul style="list-style-type: none"> • Planifier le changement et le mettre en actions concrètes (identification des besoins fonctionnels et techniques inclus) pour la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. 					
	Formation	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir une liste des compétences nécessaires pour avancer efficacement la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. • Élaborer une stratégie de communication réussie : développer un plan de communication détaillé, mettre en place des canaux de communication clairs, élaborer un message engageant. 					
	Expertise interne / niveau de maturité	<ul style="list-style-type: none"> • Veiller à motiver et communiquer en permanence avec les parties prenantes. • Planifier des formations professionnelles leur permettant de se familiariser avec la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. Le contenu des formations doit être approprié à la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines (formations touchant les domaines de développement professionnel et non seulement l'initiation aux logiciels de fonctionnalité). 					
	Culture de l'organisation	<ul style="list-style-type: none"> • Veiller à ce qu'un nombre suffisant d'employés aient accès à ces formations de la mise en œuvre de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. • Développer des offres de formation reconnues et certifiées, couvrant tous les aspects de la transformation numérique, de concert avec les acteurs clés du milieu académique. 					

Tableau 6.12 Feuille de route de transformation numérique de la ville de Beaconsfield

		2023 - 2024	2024 - 2025	2025 - 2026	2026 - 2027	2027 - 2024	
Catégorie	Sous-catégorie	Proposition d'actions/pistes de solutions/ lignes directrices					Résultats
Gestion de données	Quantité et stockage	<ul style="list-style-type: none"> Comprendre la gestion de l'information sur les actifs et la différencier de la gestion documentaire ou des courriels. Discerner les pratiques de gestion de l'information en harmonie avec la gestion des actifs d'infrastructures urbaines. Désigner et/ou former une équipe dédiée à la gestion des données. 					<p>De l'information gérée, fiable et à jour, accessible en un clic, sécuritaire, nécessaire sur les actifs construits ou à construire tout au long de leur cycle de vie.</p> <p>Pérennité de l'information et des actifs.</p> <p>Gestion efficace des projets de construction, et une saine gestion des actifs d'infrastructures urbaines, des actifs numériques et de la donnée comme actif.</p>
	Propriété et accessibilité	<ul style="list-style-type: none"> Prendre connaissance des exemples de modèles numériques générés d'un modèle physique et planifier en fonction le besoin bénéfique aux actifs de la ville. Développer ainsi les composantes propres à la ville. 					
	Fiabilité et mise à jour	<ul style="list-style-type: none"> Étudier en profondeur et mettre en place une stratégie de gestion de données efficace incluant : le besoin en niveau de détail et en quantité de données, son accessibilité, sa fiabilité, sa sécurité, son format, sa mise à jour, son coût, etc. 					
	Sécurité et contrôle	<ul style="list-style-type: none"> Travailler en collaboration, avec les différents départements de la ville, les exigences de données pour une meilleure prise de décision. Elaborer les exigences et les usages d'informations. 					
	Format et partage	<ul style="list-style-type: none"> Définir les rôles et responsabilités en matière de gestion de l'information. Mettre en place les procédures et mécanismes nécessaires pour assurer la sécurité des données. 					
Personnes / communauté / Réseau	Leadership / champion	<ul style="list-style-type: none"> Établir et responsabiliser les leaders et les champions de la mise en œuvre de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines tout en préparant les ressources nécessaires pour coordonner et développer les activités de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. 					<p>Des acteurs dédiés et compétents menant la transformation numérique et la gestion des actifs d'infrastructures urbaines.</p> <p>Acteurs résilients avec une capacité d'adaptabilité progressive.</p> <p>À suivre</p>
	Résistance au changement	<ul style="list-style-type: none"> Développer des partenariats stratégiques afin d'échanger les compétences complémentaires et de fournir mutuellement le soutien et la motivation, (partenariats locaux, nationaux et internationaux). Développer un réseau de relations professionnelles dont bénéficie la ville. 					
	Ressources humaines	<ul style="list-style-type: none"> Préparer un plan pour augmenter la capacité des ressources humaines en un nombre suffisant (banque d'experts). Élaborer un plan de gestion de développement des ressources dans le domaine de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines (Ex. : emploi, promotion, récompense, etc.) 					

Tableau 6.12 Feuille de route de transformation numérique de la ville de Beaconsfield

		2023 - 2024	2024 - 2025	2025 - 2026	2026 - 2027	2027 - 2024	
Catégorie	Sous-catégorie	Proposition d'actions/pistes de solutions/ lignes directrices					Résultats
Politique / Normes /règlementation / Lois / Contrats	Politiques et soutien des élus	<ul style="list-style-type: none"> • Cibler les paramètres qui encadrent les diverses politiques et orientations pour la transformation numérique et la gestion des actifs d'infrastructures urbaines à la fois soutenant la vision partagée et les objectifs de mise en œuvre. • Lister les normes et standards qu'utilise la ville y compris les normes nationales ou internationales établies (ex. : ANSI). • Développer des guides et documents soutenant l'application de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines (ex. : un guide de déploiement du BIM, un guide de livraison de permis électronique, un manuel d'utilisation GIS). Ces guides et documents doivent prendre en considération le contexte particulier de la ville et communiquer les meilleures pratiques, techniques et stratégies. 					<p>Des politiques claires et cohérentes régissant la mise en œuvre de la transformation numérique et une réglementation facilitant son application à travers l'industrie.</p> <p>Des contrats clairs et complets facilitant l'usage de la transformation numérique dans des écosystèmes collaboratifs.</p> <p>Des guides, documents et normes à jour, pertinents, facilitant et encadrant un travail efficace et de qualité.</p>
	Normes / Contrats						
	Guides et lignes directrices	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier et prendre connaissance des normes couvrant la gestion de l'information et la création des données sur les actifs construits (ex. : ISO55000 et ISO19650). • Adapter et adopter des normes facilitant la gestion des actifs et la gestion de l'information sur les actifs. • Réviser les critères d'appel d'offre de la ville, ses clauses de contrats y compris la propriété intellectuelle (PI), les droits de propriété afin de s'harmoniser avec les projets de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines. 					
	Lois et réglementation	<ul style="list-style-type: none"> • Développer des mécanismes contractuels et financiers adaptés aux nouveaux modèles d'affaires soutenus par la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines et clarifier les questions de propriété de données, d'assurance et autres. • Développer un dictionnaire (unifier le langage) propre aux termes de la ville particulièrement à ceux appropriés aux actifs. 					
	Terminologie						
Technologie / Écosystème numérique / informatif	Technologie et outils existants	<ul style="list-style-type: none"> • Cartographier les technologies existantes et identifier les besoins et les pistes de développement à prioriser. • Élaborer une veille technologique systémique permettant l'intégration de l'information tout au long du cycle de vie des actifs (pouvant affecter la qualité des services). 					<p>Un environnement de travail collaboratif appuyé sur des technologies fiables permettant aux employés de collaborer efficacement, de rendre le meilleur service en moins de temps.</p>
	Nouvelles technologies et outils collaboratifs	<ul style="list-style-type: none"> • Établir les exigences de mise en place de plateforme(s) de collaboration basée(s) sur des formats ouverts et neutres. • Se renseigner sur les « environnements de données communs » et voir l'utilité et la possibilité de son applicabilité à la ville. 					

6.10 Limites

La collecte et l'examen des données de la présente recherche se sont limités à la ville de Beaconsfield. Même si quelques données ont été collectées à distance, elles ont néanmoins été validées au cœur du terrain de la recherche. Ce fut donc un privilège d'être entourée et accompagnée par les employés de la ville, en contexte réel, avec une confiance totale. Ces données riches ont été analysées suivant des méthodes de traitement de données qualitatives/quantitatives inspirées de Miles et al. (2018).

La collecte de la grande quantité de données ainsi que l'utilisation de plusieurs méthodes d'analyse constituent une difficulté inhérente. Ceci a été atténué grâce à la gestion et l'organisation systématique des données.

La méthodologie de l'étude de cas unique présente aussi ses limites. Les résultats des analyses ne peuvent pas être généralisés, car ils ne représentent pas fidèlement toutes les villes. Toutefois, les résultats couvrent une théorie plus large et aident à une généralisation analytique adaptative à chaque contexte particulier.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les villes sont aujourd'hui confrontées à des défis et risques sans précédent. Elles sont confrontées aux changements climatiques, à la croissance démographique entraînant une urbanisation rapide et une demande accrue d'infrastructures fiables, ainsi qu'à un besoin croissant d'efficacité énergétique et de sensibilisation du public à l'environnement. Face à cette situation, les villes doivent assurer la résilience de ses infrastructures et la durabilité de ses services offerts aux citoyens.

Les infrastructures urbaines sont la pierre angulaire de la santé publique et de la sécurité, mais elles sont vieillissantes dans plusieurs pays au monde. Elles doivent donc être prises en charge, compte tenu du taux de défaillances élevé. Pour ce faire, la ville doit équilibrer ses immobilisations et la croissance de la population. Le public est moins tolérant face aux interruptions d'alimentation en eau, aux cavités et bris des chaussées et aux refoulements d'égouts. La gestion à l'urgence augmente l'insatisfaction et la pression des citoyens. Le citoyen demande un meilleur service et a un besoin grandissant pour connaître son vrai coût. Il y a aussi une demande pour un plus grand niveau de transparence et d'imputabilité pour la gestion des actifs publics envers la communauté.

La situation au Québec et l'état des actifs d'infrastructures urbaines ne font pas exception quant aux difficultés mentionnées. Ces actifs sont complexes, interreliés et interdépendants entre eux compliquant le processus décisionnel, alors que ce dernier stimule des infrastructures urbaines durables et inclusives. Ces enjeux, en plus de la multitude d'actifs et de projets, sont à prendre en considération lors de la prise de décision et de la planification du portefeuille des projets.

Dans plusieurs villes québécoises d'importance, les actifs étant vieillissants, un grand nombre d'entre eux ont presque atteint la fin de leur vie utile. Les dépenses d'entretien, de maintien et du renouvellement éventuel des actifs représentent des investissements majeurs. Ces derniers sont en croissance rapide et les gouvernements, particulièrement les

municipalités, ne sont pas capables de couvrir tous ces coûts excédentaires. La gouvernance du financement des infrastructures urbaines devient alors un problème insoluble malgré la contribution importante des infrastructures au sein du développement de l'économie nationale. De plus, peu d'argent public est investi dans les infrastructures. Il est nécessaire de savoir que le déficit d'entretien pour les infrastructures de base a atteint un taux important et qu'il continue de grossir. À cet effet, plusieurs villes québécoises sont incapables de combler ce déficit. Elles ont épuisé leur capacité d'emprunts pour le développement des infrastructures, elles ne peuvent donc pas entreprendre de nouveaux programmes de renouvellement. Par conséquent, un taux élevé de bris et de défaillances est enregistré et ne cesse d'augmenter. Ceci entraîne des répercussions sur la qualité et le maintien des services offerts aux citoyens, affectant des questions de grande envergure concernant l'environnement construit et naturel, le développement économique et social, la durabilité et la résilience des villes.

Afin de remédier à cette situation, les villes adoptent des solutions plus efficaces qui génèrent une large valeur publique. Certaines villes ont mis en place des initiatives visant la saine gestion des actifs. Cette dernière correspond à l'élaboration et à l'application de stratégies de gestion efficaces à long terme dans une perspective de cycle de vie. Elle vise à fournir les niveaux de service convenus et à suivre la performance de la prestation des services, en tenant compte de l'impact, de la croissance, de la demande sur la gestion et la planification des investissements et en gérant les risques associés à la défaillance des actifs. À cette fin, la gestion d'actifs utilise les ressources humaines et matérielles de manière durable. De plus, les activités et les pratiques de gestion des actifs sont continuellement validées.

Parallèlement, les villes ont connu, durant ces dix dernières années, une révolution numérique provoquée par le développement du réseau internet et accentuée par l'essor de nouvelles technologies. L'internet s'est infiltré dans toutes les pratiques à une vitesse extrêmement rapide et a fortement influencé le fonctionnement des villes. La technologie numérique a non seulement influencé le monde, mais elle l'a aussi remodelé. Certaines villes ont mis en place de nouvelles idées, tendances et solutions informatiques, telles que « ville de

nouvelle génération », « ville numérique », « ville intelligente » et « jumeau numérique d'une ville ».

En outre, les villes ont connu ces deux dernières années un bouleversement jamais vu auparavant et qui a été accéléré par la pandémie de la Covid-19. La pression provenant des organisations privées et des citoyens a donc obligé les villes à s'adapter rapidement à l'évolution et au changement technologique. Plusieurs villes ont essayé de tirer profit de l'ère numérique en intégrant une gamme de technologies, ainsi les activités de gestion des actifs sont devenues plus interconnectées et efficaces.

L'utilisation des technologies, processus, initiatives et concepts numériques peut aider les villes à relever les défis auxquels elles sont confrontées aujourd'hui de manière plus intégrée.

Le recours à la technologie, aux processus, aux initiatives et concepts numériques aide grandement les villes à relever, de manière plus intégrée, les grands enjeux actuels. Ce recours permet d'interagir les uns avec les autres rapidement tout en assurant une plus grande interconnectivité, plus d'informations et une plus grande flexibilité. Cela permet également d'avoir une vision plus claire en alignant en permanence la valeur des services et l'évolution des besoins des citoyens, en augmentant ainsi leur efficacité et leur efficience, et en construisant des relations citoyennes plus durables et plus profitables. L'utilisation de la technologie aide les villes à stimuler la croissance, à répondre efficacement aux demandes des citoyens, à collecter et interconnecter des données pour prendre des décisions efficaces, améliorer la planification et optimiser le travail. D'ailleurs, la numérisation des données sur les actifs des infrastructures urbaines suscite de plus en plus l'intérêt des services publics.

Cependant, les villes manquent de compétences nécessaires pour gérer efficacement les quantités considérables de données issues de cette numérisation. Ainsi, les informations sur l'environnement construit risquent de devenir rapidement ingérables et la valeur de ces informations risque de se perdre rapidement. Déployer la technologie pour un tel environnement nécessite donc une vision de ville intelligente et inclut des exigences strictes

en matière de confidentialité, de stockage, de sécurité, de protection et de traitement de grandes quantités d'informations.

La technologie est en constante évolution, puissante, de plus en plus intelligente, et aide à une meilleure prise de décision. Ce rythme exponentiel des changements technologiques rapides modifie la communication, la collaboration, les activités de gestion des actifs, les services offerts aux citoyens, etc. Les villes ne doivent pas seulement utiliser la technologie pour automatiser certaines fonctions communes au service de leurs citoyens. Elles doivent également utiliser des solutions pour surveiller, comprendre, analyser en temps réel et planifier afin d'améliorer l'efficacité, l'équité et la qualité de vie des citoyens. Le rythme accéléré de ces technologies puissantes et naissantes transforme radicalement l'organisation municipale, de façon aléatoire ou planifiée, et pose des défis.

De plus, la plupart de ces technologies sont utilisées pour des applications spécifiques (ad hoc), de sorte que la création d'une approche fédérée pour la gestion future n'a pas été envisagée très souvent. C'est ainsi que cette thèse a posé sa question de recherche :

Comment structurer la transformation numérique au sein des municipalités pour assurer la saine gestion des infrastructures urbaines ?

À partir de cette question, et sur la base de cette problématique, trois objectifs ont été fixés et atteints. Premièrement, l'étude a identifié des initiatives, des approches, des processus et des outils technologiques existants permettant une saine gestion des actifs des infrastructures urbaines. Deuxièmement, une revue systématique de la littérature a été effectuée afin de cerner le maximum de freins et de défis du lancement et du maintien d'une transformation numérique municipale. Troisièmement, l'étude a créé un cadre pour structurer la transformation numérique et l'aligner aux activités de gestion des actifs des infrastructures urbaines des villes. Ensuite, le cadre a été amélioré, validé, adapté et il a évolué selon le contexte québécois grâce à l'analyse des données collectées lors de : 1) les ateliers au niveau de deux grandes villes québécoises; 2) le sondage auprès de 44 villes et les 22 entrevues

auprès de 13 villes de toutes tailles; 3) les ateliers, le sondage, l'entrevue, l'analyse documentaire et l'investigation sur place auprès d'une ville spécifique.

L'atteinte des trois objectifs de la recherche doctorale est la voie qui a mené à répondre à la question de recherche. Le cadre qui en résulte démontre comment structurer la transformation numérique par des actions concrètes.

Lacunes de la littérature et contributions de la thèse

Au cours des deux dernières décennies, il y a eu une augmentation constante de la littérature sur les concepts et processus numériques pertinents pour les villes. Par exemple, plusieurs recherches existent au sujet de « e-gouvernement », « transformation numérique de l'administration publique », « villes numériques » et « villes intelligentes ». La littérature regorge de ces tendances numériques, mais elle est également fragmentée et dépendante du contexte évolutif. La fragmentation se retrouve également dans l'approche de la gestion des actifs déployée. Voici quelques lacunes concluantes qui soutiennent cette fragmentation dans la littérature et comment la thèse propose de les atténuer:

- **Confusion de définitions et de concepts**

Dans la littérature, chaque concept numérique a plusieurs définitions différentes et des incohérences dans l'utilisation du concept par certains auteurs et certains dirigeants municipaux. Les villes intelligentes sont un excellent exemple de l'absence de consensus sur une définition commune. Ainsi, en changeant de perspective ou de discipline, plusieurs termes sont utilisés pour définir un même concept avec une même vision. À l'instar de cet exemple, la ville intelligente s'approche de la définition de la ville numérique pour la discipline de l'administration publique. Alors que la ville intelligente inclut aussi la politique dans le domaine de la gestion publique.

La présente recherche doctorale propose d'examiner certaines de ces failles. Les contributions sont une ressource précieuse pour gagner du temps. La thèse résume les éléments les plus importants des connaissances pertinentes au sujet de la recherche. Elle fournit également des connaissances sur la gestion des actifs, la transformation numérique,

les jumeaux numériques, etc., et présente les activités de gestion des actifs tout au long du cycle de vie.

Ensuite, cette thèse attribue certains éléments liés à la transformation numérique, à savoir : les bonnes pratiques, les processus, les modèles d'information ainsi que les normes et outils technologiques. Bien que les connaissances fournies soient encore sommaires, notamment au niveau du jumeau numérique, les professionnels des villes sauront s'approprier ces notions numériques plutôt que de les confondre. Il s'agit d'une initiation avant que la ville ne prenne des initiatives numériques. De plus, la ville désirant créer son jumeau numérique comprendra l'importance de structurer sa transformation numérique, tout en augmentant sa capacité et sa maturité numériques avant tout engagement.

- **Alignement stratégique et contexte très dynamique**

Les recherches antérieures sur la transformation numérique des municipalités n'ont pas entièrement abordé le processus d'alignement des activités de la gestion des actifs dans le contexte très dynamique de la stratégie numérique.

Cette thèse se concentre sur comment faire avancer la transformation numérique tout en maintenant raisonnablement sa cohérence avec le reste des activités. Bien qu'elle ne résolve pas l'ensemble des lacunes mentionnées, le fait de les identifier et de les aborder est une contribution.

L'alignement stratégique est un exercice d'équilibrage entre l'objectif principal et la mission globale de la ville. Une ville en pleine maturité numérique implique des caractéristiques communes au niveau de la culture organisationnelle, par exemple, l'investissement dans la formation, le recrutement de leaders, et le développement des compétences numériques. L'alignement inclut également l'anticipation des perturbations de l'industrie découlant des tendances numériques.

La thèse aborde l'alignement et la stratégie organisationnelle à un très haut niveau et présente certaines de ces tendances qui sont liées à la gestion des actifs des infrastructures urbaines. Elle recommande ces caractéristiques communes dans son cadre et plusieurs actions concernant l'alignement mais ne détaille pas des stratégies fonctionnelles ou des services (p. ex., stratégie informatique, stratégie de main-d'œuvre, stratégie d'analyse).

Une stratégie numérique efficace se synchronise avec les stratégies élaborées à d'autres niveaux de l'organisation municipale. Elle doit être conçue de sorte que les décisions et les actions critiques qui la définissent se croisent et s'intègrent harmonieusement avec les autres stratégies. D'ailleurs, la thèse incite à une vision holistique globale et à l'interconnexion entre les domaines de gestions, assurant ainsi que les objectifs de l'organisation municipale cadrent avec les plans et les priorités des autres fonctions organisationnelles.

En ce qui concerne le contexte dynamique de la stratégie numérique, la thèse propose de relier les données à la valeur publique, créer des actifs de données réutilisables et de concevoir un modèle de ville évolutive avec des données en temps réel. Le plus important est d'examiner continuellement la stratégie numérique pour en vérifier l'alignement et repérer les points de divergence importants, de travailler à atténuer ces incohérences et d'effectuer les ajustements en fonction de l'objectif à long terme de l'organisation municipale.

- **Gestion des données**

La gestion des données n'a pas été identifiée comme un problème majeur qui pourrait entraver la transformation numérique dans l'ancienne littérature examinée comparée à la nouvelle. D'ailleurs, cette gestion n'avait pas la même ampleur, la même échelle d'impacts et le même volume de données qu'aujourd'hui, surtout en ce qui concerne la numérisation et la gestion des données sur les infrastructures urbaines.

Cette thèse démontre, par ses différentes analyses, que la gestion des données est l'enjeu principal de la transformation numérique dans les villes québécoises. L'importance des données et du fait d'en être propriétaire et gestionnaire sont parmi les conclusions importantes que les villes doivent prendre en considération. De nouvelles considérations concernent l'évolution des technologies et du contexte, notamment durant la période post-COVID.

Le monde est actuellement confronté à une numérisation massive, en particulier en ce qui concerne les données sur les actifs. Le résultat de cette recherche est un vaste trésor de données urbaines qui doit être utilisé pour mieux contrôler, gérer, organiser et réguler la ville en temps réel. La gestion des données comprend également plusieurs composantes telles que la propriété et la quantité, la qualité et la fiabilité, la numérisation et la mise à jour,

l'accessibilité et le coût, le format et le stockage, la maintenance et le niveau de détail, ainsi que la sécurité et le contrôle. Dans son cadre développé, la thèse consacre une catégorie entière à la gestion des données et conclut qu'il est essentiel d'examiner en profondeur ce sujet dans les recherches futures.

- **Gouvernance intégrée et génération de valeur**

Une fragmentation a été détectée au niveau de la notion de la gouvernance de chacun des concepts numériques. Elle se retrouve dans le lien entre la gouvernance, les activités et les fonctions de différentes disciplines (p. ex., la gestion publique, l'administration publique, la gestion de projets de construction) avec celles de la gestion des actifs des infrastructures urbaines, en plus de la technologie utilisée et dédiée à des applications spécifiques.

La notion de « gouvernance intégrée » est plus ou moins abordée par des chercheurs en sciences de l'administration publique, en sciences politiques et en sciences humaines et sociales. Lorsqu'il s'agit de la gestion des actifs arrimée avec la transformation numérique, la littérature scientifique étudiée n'est pas claire concernant la gouvernance intégrée qui vise l'optimisation des risques, la création de valeur, etc. Cette dernière est aussi une des lacunes identifiées dans la littérature, car peu de recherche sur la transformation numérique prend en considération la notion de valeur publique.

La thèse a déjà évoqué l'importance de la gouvernance intégrée et de la gestion du rendement pour la réussite du gouvernement numérique. À cet effet, il faut repenser la gouvernance afin qu'elles tiennent compte des nouveaux enjeux d'interdépendance entre les concepts numériques et la qualité de vie des citoyens. La thèse suggère aux décideurs de suivre des concepts en matière de gouvernance intégrée et de définir un modèle de gouvernance et des stratégies de leadership nécessaires à la transformation de la ville.

Le cadre développé dans cette thèse essaye de pallier cette fragmentation en structurant la transformation numérique en six grandes catégories et 22 sous-catégories, car l'intégration dépend de plusieurs aspects (p. ex., organisationnels, technologiques, politiques, normatifs, processus). Aussi, il est judicieux de travailler en collaboration et de se comparer efficacement avec d'autres villes et d'optimiser l'investissement à long terme dans l'innovation.

En ce qui concerne la génération de valeur, cette dernière diffère quand il s'agit d'une organisation publique comparée à une organisation privée. La valeur recherchée au privé est plutôt monétaire, alors que dans le public, spécifiquement l'organisation municipale, la valeur vise l'amélioration des services et la qualité de vie des citoyens. La gestion des actifs cherche à prioriser les bons projets, et la valeur recherchée est le maintien du service rendu au citoyen au moindre coût et pour le long terme. La valeur recherchée d'une transformation numérique bien structurée est le maintien de la résilience organisationnelle, le contrôle de l'efficacité de l'automatisation, des technologies déployées, des concepts et initiatives numériques. La valeur recherchée d'une transformation numérique des activités de la gestion des actifs nécessite donc plus d'investigation dans les recherches futures.

- **Système des systèmes**

La littérature examinée traite généralement l'infrastructure urbaine séparément de chaque secteur et sans vue systématique holistique. L'utilisation des concepts et outils technologiques aide à remédier à cette situation. La thèse propose l'utilisation d'un modèle virtuel d'une ville, par exemple, car il fournit une série de visualisations d'informations connexes qui facilitent la formation de cette vision.

La ville est « un système des systèmes », tel que mentionné à plusieurs reprises dans la thèse, et doit être considérée et réfléchi à partir de cette notion de base. Cette thèse conclut que la compréhension des infrastructures urbaines et de leur fonctionnement comme système composant la ville devrait précéder toutes initiatives ou prises de décision. Par conséquent, pour garantir la pérennité des infrastructures urbaines deux points sont à retenir : (1) les différents systèmes doivent être interconnectés et intégrés ; (2) les domaines doivent être combinés et coordonnés sur toutes les phases du cycle de vie d'un même système. Ces points peuvent être réalisés par une vision holistique grâce à une gestion intégrée de la planification stratégique pour l'élaboration d'un plan d'action.

En examinant le processus de gestion des actifs, cette étude conclut que ce processus optimise non seulement l'utilisation des infrastructures, mais il priorise également les projets et les actions à entreprendre dans la planification, en interconnectant différents projets et

infrastructures en même temps. En combinant ce processus aux technologies numériques, la prise de décision est ainsi facilitée et mieux comprise.

- **Approches de la gestion des actifs**

La fragmentation s'observe également dans les approches de gestion d'actifs utilisées et les concepts numériques associés. Le cadre développé dans ce travail propose des mesures (actions) qui s'inscrivent dans une approche à la fois descendante et ascendante. Une approche descendante (commençant au niveau stratégique) facilite la planification stratégique à long terme des politiques et des programmes. Ceci est fait en utilisant des données partielles pour fournir un instantané de la situation des actifs. Une approche ascendante (commençant au niveau opérationnel) est utilisée pour la planification des immobilisations à court terme des projets. À cet effet, des données sur l'état des actifs et un inventaire détaillé sont requis. Une approche ascendante implique la mise en place des plans d'auscultation des actifs afin de mieux identifier les interventions nécessaires. Alors que la gestion des actifs est un processus à déploiement basé sur le cycle de vie, à la fois descendant et ascendant.

- **Lien entre la gestion des actifs et la transformation numérique**

La transformation numérique permet aux villes de maximiser les bénéfices de la gestion des actifs et leurs retombées d'où la suggestion du jumeau numérique. Dans l'étude de cas de la ville de Beaconsfield, la transformation des pratiques de la gestion des actifs par la transformation numérique est le potentiel de mise en œuvre de leur jumeau numérique.

Dans le domaine de la gestion des actifs, il y a très peu de recherches au niveau organisationnel des villes qui se penchent sur la question de la transformation numérique et les données numériques des infrastructures urbaines. Il est attendu que la présente thèse ouvre d'autres perspectives de recherche pour progresser dans le domaine de la gestion des actifs et attirer l'attention des chercheurs sur le bénéfice qu'apporte la nouvelle technologie au domaine de la gestion des actifs.

La thèse présente des actions du cadre développé qui concernent plusieurs disciplines en même temps, soit la gestion des actifs, la gestion de projets de construction, la transformation numérique, le gouvernement électronique et l'administration publique.

Toutefois, il y a très peu de recherches qui traitent de la prise de décision et l'utilisation des modèles virtuels d'une ville pour la prise de décision en se basant sur l'analyse et la simulation sur le cycle de vie d'un actif. De plus, peu de recherches ont été produites sur la prise de décision ayant une vision systémique sur les questions technologiques, organisationnelles, procédurales et contextuelles en même temps.

Même si la contribution de la présente recherche demeure progressive, elle propose des bases pour pallier à ce manque. Elle vise l'avancement de l'ensemble des connaissances relatives aux processus virtuels de prise de décision dans le domaine de la gestion des actifs des infrastructures urbaines.

Du côté pratique, une structuration de transformation numérique, avec des actions de gestion des actifs à l'échelle de l'organisation municipale, appuie un processus décisionnel uniforme dans tous les services. Les gouvernements municipaux sont convaincus du bénéfice de la gestion des actifs et du bénéfice des nouvelles tendances numériques, mais manquent d'orientation, de fondements, etc. sur lesquels s'appuyer. L'environnement dans lequel évoluent les municipalités influe sur leurs priorités et leurs méthodes de prestation des services. La thèse contribue ainsi à combler ces lacunes par un cadre de référence qui présente les possibilités qu'il doit prioriser.

Également, le cadre fournit un guide et un outil d'analyse des organisations publiques, en général, et municipales en particulier, et montre le potentiel d'être appliqué dans la pratique. Ainsi, les villes pourraient suivre, bénéficier, enrichir et prioriser leurs actions en fonction du contexte particulier de chacune d'entre elles. L'appropriation du processus de transformation numérique selon ces indications garantit l'alignement entre la vision, les priorités stratégiques et les plans opérationnels. Chaque action proposée est reliée à une activité de gestion des actifs, qui engage toutes les parties prenantes à jouer un rôle pour l'avancement d'un monde numérique sûr et équitable.

Autres contributions

- **Description détaillée du parcours de la recherche**

La présentation d'une description détaillée du parcours scientifique, du début à la fin de la recherche, est une contribution en soi. Ce parcours montre comment tirer des conclusions fiables à partir de données qualitatives. Les futurs chercheurs peuvent ainsi suivre ce fil conducteur et s'en inspirer, tout comme ils peuvent le critiquer et l'améliorer en conséquence. Ce parcours inclut celui de la revue systémique de la littérature ainsi que ceux de la méthodologie, des approches, outils et méthodes de collecte et d'analyse des données de la présente recherche doctorale. Il détaille comment tirer des conclusions fiables à partir de données qualitatives, utile pour le milieu théorique et pratique.

La thèse décrit les méthodes utilisées, soit les ateliers, le sondage, les entrevues, l'analyse documentaire, et l'investigation sur place (dans la ville de Beaconsfield). La conception et la réalisation du questionnaire du sondage et le questionnaire des entrevues sont également détaillés dans la thèse. Ce sont des outils de collecte de données, une base qui peut être réutilisée telle quelle ou améliorée.

La thèse couvre la sélection et les approches de recrutement des participants, le choix des méthodes d'analyse, le choix du type de codage, la validation du texte codé et son application. L'ensemble représente une contribution qui peut être reproduite et inspirée.

En analysant les données à travers différentes méthodes et différents codages, les freins redondants peuvent être identifiés. De nombreux freins sont retrouvés dans plusieurs méthodes, validant leur existence et confirmant leur importance et la nécessité d'agir pour les limiter. Cela est décrit dans la thèse et peut être également reproduit dans n'importe quelle ville.

L'interaction des diverses analyses a montré que les méthodes utilisées se complètent. Les entrevues, les ateliers et les sondages, menés en contact direct avec les professionnels, ont permis d'identifier des freins souvent liés à l'humain. Tandis que la recherche et l'analyse documentaire ainsi que l'investigation sur place ont permis d'identifier les lacunes quant à la culture organisationnelle, aux directives et aux politiques utilisées. Toutes ces conclusions

tirées sont, entre autres, une contribution pour raccourcir les démarches et optimiser le temps des recherches futures.

- **Portrait de la transformation numérique des villes québécoises**

La recherche a dressé un portrait global de la transformation numérique des actifs d'infrastructures urbaines dans le milieu municipal québécois. La collecte de données sur les villes québécoises est une contribution. La documentation examinée comprenait des revues de la littérature ou des études de cas (uniques ou multiples) avec des données recueillies au cours de plusieurs entrevues. De fait, aucune étude trouvée sur le sujet ne possède l'ampleur de la présente recherche doctorale concernant la taille de l'échantillon étudié : 135 répondants couvrant 44 villes, ainsi que 22 entrevues couvrant 13 villes de différentes tailles, en plus de l'étude de cas de la ville de Beaconsfield.

Bénéfices escomptés pour les villes appliquant le cadre

Les résultats démontrent que les villes ne sont pas préparées à un avenir numérique, même lorsque les initiatives sont mises en œuvre en tant que projets numériques limités à des secteurs, activités ou fonctions spécifiques de la ville. Les villes sont mal préparées aux perturbations de l'industrie à mesure que les tendances numériques émergent. Cette thèse illustre la difficulté de cette mission pour les villes et identifie les nombreux problèmes et défis qui entravent la réussite de la transformation numérique.

La thèse offre des lignes directrices que les villes peuvent suivre pour aider au développement des capacités numériques dans lesquelles les pratiques, la structure, la culture, les politiques, les personnes, l'écosystème numérique, etc. (toutes les catégories et sous-catégories du cadre) sont synchronisés et alignés avec un ensemble d'objectifs organisationnels. À cet effet, cette recherche encourage les villes à exploiter les avantages de la technologie et des initiatives numériques au-delà de la simple gestion des actifs. Elle promeut une compréhension holistique des besoins, des concepts et des avantages d'une transformation numérique structurée. La thèse fournit également des instructions et des directives à suivre.

Suivre les recommandations du cadre au niveau de :

- La catégorie « Stratégie / Gouvernance / Pilotage » guide la ville vers une vision partagée et transmise, ainsi qu'une stratégie et un plan d'action clairs, correctement mis en œuvre, suivis et strictement respectés.
- La catégorie « Processus / Pratique / Gestion/ Organisation / Structure / Culture » conduit à des pratiques, processus et domaines de gestion coordonnés avec un flux d'informations efficace et permet aux employés de créer un maximum de valeurs pour le citoyen. Les approches seront optimisées et soutenues par un processus d'amélioration continue: de la planification, à la réalisation et à l'entretien et au maintien sur le cycle de vie. Les changements seront planifiés, structurés et organisés, et les aptitudes et compétences seront renforcées.
- La « Gestion de données » apporte des informations gérables, fiables et à jour, accessibles en un clic, sécurisées, et nécessaires aux actifs construits ou à construire tout au long de leur cycle de vie. Cela conduit à la durabilité des informations et des actifs et à une gestion efficace des projets de construction, ainsi qu'à une bonne gestion des actifs numériques et des données en tant qu'actifs.
- La catégorie « Politique / Normes /Règlementation / Lois / Contrats » aide à concevoir des politiques claires et cohérentes pour gérer la mise en œuvre de la transformation numérique et une réglementation facilitant son application dans l'ensemble de l'industrie. Les contrats seront clairs et complets, facilitant l'usage de la transformation numérique dans des écosystèmes collaboratifs. Les guides, documents et normes seront à jour, pertinents, faciliteront et contrôleront un travail efficace et de haute qualité.
- La catégorie « Personnes / Communauté / Réseau » invite les acteurs engagés et résilients à une adaptabilité progressive et à des compétences pour mener la transformation numérique.
- Enfin, la catégorie « Technologie / Écosystème numérique / informationnel » assure l'optimisation et la prévision, ainsi qu'un environnement de travail collaboratif soutenu basé sur une technologie de confiance qui permet aux employés de travailler ensemble efficacement pour fournir le meilleur service en moins de temps.

Limites, recommandations et recherches futures

La présente recherche doctorale se concentre sur la structuration de la transformation numérique au niveau des villes. Elle se limite à la conception d'un cadre théorique menant à l'intégration des sources d'information et préparant les villes à la vision systémique. La recherche a réussi à faire l'état de 44 villes québécoises et à sensibiliser les villes à la transformation numérique. Elle prépare le terrain pour l'intégration future de jumeau numérique dans le milieu municipal.

- **Contexte québécois et généralisabilité du cadre**

La présente recherche doctorale est inscrite dans un paradigme qualitatif/interprétatif, les résultats transférés dans des contextes aux caractéristiques dissemblables doivent être validés et ajustés. Les données recueillies proviennent des professionnels travaillant dans des municipalités québécoises, ce qui signifie que la structure, la nature des tâches et la culture organisationnelle peuvent varier considérablement. Ces différences doivent être prises en considération lorsque les résultats de la présente thèse sont comparés à ceux d'études émanant d'autres pays et/ou portant sur une organisation publique au niveau provincial, régional ou fédéral.

Centrer cette étude sur le contexte spécifique du Québec est une contribution pour le Canada car, jusqu'à maintenant, il n'y avait pas de recherche sur cette question ou sur le domaine général dans la littérature canadienne. Les études précédentes n'ont pas décrit de manière exhaustive les efforts de transformation numérique du secteur municipal et, dans l'ensemble, la portée de l'étude actuelle (enquête auprès de 44 villes).

Le cadre développé peut être utilisé par les villes du monde entier, limité à des conseils et des recommandations d'action sur la manière d'appliquer le cadre pour surmonter les défis et les freins de la transformation numérique. À ce titre, les expérimentations de cette recherche peuvent aller au-delà de simples expérimentations locales.

Étant donné que le cadre est développé pour le contexte municipal, cette étude invite à se questionner plus largement sur la possibilité de définir un cadre universel de transformation numérique, qui soit pertinent pour n'importe quel type de système de fonction publique, dans

n'importe quel contexte national, et ce, pour toutes les catégories et sous-catégories du cadre en question.

- **Applicabilité du cadre**

Le cadre élaboré fournit des lignes directrices dont les villes peuvent tirer profit en anticipant la surveillance à l'avance. L'analyse a pu hiérarchiser des priorisations d'actions dans le cadre de la ville de Beaconsfield. Toutefois, ce cadre n'a pas été mis à l'essai compte tenu du long délai de structuration pratique de la transformation numérique au niveau des villes. Des recherches futures seraient donc nécessaires pour tester le cadre sur le long terme dans une municipalité spécifique. Le suivi et la priorisation des actions, la définition des indicateurs de mesure du niveau de capacité numérique, ainsi que sa mesure sont recommandés. La création de guides spécifiques pour accompagner ce cadre devrait également être envisagée pour le soutenir.

- **Approfondissement des activités du cadre**

Le cadre est à un niveau élevé, il est considéré comme le premier pas pour structurer la transformation numérique et augmenter la capacité des villes. Chaque sous-catégorie et certaines actions du cadre sont un projet à part entière, qui mériterait plus d'investigation. À titre d'exemple :

- L'applicabilité dans le milieu municipal des deux normes ISO 19650 sur la gestion de l'information sur les actifs construits et ISO 55000 sur la gestion des actifs;
- Le déploiement des mécanismes contractuels adaptés aux futures évolutions numériques telles que l'Integrated Project Delivery (IPD) et les contrats intelligents;
- La gestion des données et tout ce qu'elle implique dans le cadre ;
- L'exploration de diverses technologies afin d'anticiper leur impact sur les organisations municipales et bénéficier de l'imagination et de la créativité qu'elles offrent aux dirigeants telles que l'Intelligence Artificielle, l'Internet des Objets, la Réalité Augmentée, le Cloud Computing et l'Edge Computing.

• Niveau de maturité

Une autre limite de cette recherche est le niveau de maturité de la transformation numérique et le niveau de maturité de la gestion des actifs au sein des organisations municipales étudiées. D'une part, ces deux domaines sont émergents et, d'autre part, le secteur municipal/public est à la traîne dans la transformation numérique comparé au secteur privé.

Il est recommandé l'instauration d'indicateurs et de mécanismes pour monter le niveau de maturité numérique et le suivi de son évolution.

• Jumeau numérique de ville

Les connaissances qu'apporte la présente recherche au niveau du jumeau numérique sont encore sommaires, même si ce concept est le point de départ de cette recherche doctorale. Le jumeau numérique et les jumeaux numériques connectés sont une tendance actuelle et sont encore à leur balbutiement dans la littérature. Des études futures sont recommandées :

- Étudier la faisabilité du jumeau numérique comme solution pour une ville comparée à une autre ville. La densité de la ville et l'étalement urbain sont à prendre en considération.
- Étudier les composantes du jumeau numérique à interconnectées, les exigences et requis en informations et le lien entre l'actif virtuel et l'actif physique. Le lien de la transformation numérique et les activités de la gestion des actifs mérite plus d'investigation. Le processus de la gestion des actifs d'infrastructures urbaines spécifie ces indicateurs comme le type de matériaux, l'âge des réseaux, etc.
- Étudier la connectivité des infrastructures et la capacité des réseaux en fonction de la taille de la ville.
- Estimer les coûts, efforts, bénéfices et délais de réalisation d'un jumeau numérique de ville ou de plusieurs jumeaux numériques.
- Étudier la nécessité et la stabilité d'outils technologiques, sa disponibilité et toutes les questions concernant la mise à jour des données.

• Contexte de la COVID-19

Par ailleurs, en raison du contexte sanitaire de la COVID-19, les entrevues et les ateliers ont dû être menés à distance, ce qui a posé certaines limites car l'absence de rencontre physique

empêche parfois d'observer et de prendre en compte correctement le langage non verbal des répondants. Cela peut conduire à un biais possible dans l'interprétation du langage. Les différentes analyses de cette recherche ont toutefois permis de montrer que les méthodes utilisées sont complémentaires. L'interconnexion des résultats des différentes méthodes permet de détecter puis de combler les lacunes de chacune des méthodes.

• **Difficulté d'analyse de grande quantité de données**

Une enquête qui couvre 44 villes est une autre contribution de cette recherche. Néanmoins, la collecte de la grande quantité de données ainsi que l'utilisation de plusieurs méthodes d'analyse constituent une difficulté inhérente. Ceci a été atténué grâce à la collaboration des chercheurs, à la gestion et l'organisation systématique des données et aussi à l'apprentissage des méthodes d'analyse et au gain d'expérience par les chercheurs.

La transformation numérique a déjà changé le milieu de travail en hybride et la division du travail entre les humains, les ordinateurs et les algorithmes. Des recherches futures sont recommandées en ce qui a trait à l'impact des milieux de travail municipaux (au-delà des bureaux) sur la transformation numérique des actifs. Des expériences numériques sans friction, le partage de données en temps réel et d'autres tendances numériques façonnent le monde. C'est l'occasion de mener des recherches sur la mise en place de nouveaux services municipaux qui profiteront de ce potentiel.

Un dernier mot pour conclure cette thèse :

L'étude examine la gestion des actifs, la transformation numérique et leurs interrelations, leur structure et leur cohérence au niveau de la ville. Tout au long de cette recherche, la ville qui appliquera les recommandations de cette thèse se distinguera par rapport aux autres et atteindra ainsi un statut d'excellence. Il s'avère que, comme l'a souligné Charles Landry (2006), il ne faut pas essayer de rendre la ville « la meilleure au monde » alors que l'idéal qui puisse arriver est que la ville deviendra « la meilleure pour le monde ».

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abiteboul, S. (2012). « Sciences des données: de la logique du premier ordre à la Toile ». Repéré à : <https://books.openedition.org/cdf/529#bodyftn5>
- AccuCities (2018). Repéré à : <http://www.accucities.com/>
- ACTP, SCGC, FCM, & CDP (2016). « Éclairer l'avenir », Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes, repéré à : <http://canadainfrastructure.ca/fr/index.html>
- ActuIA (2017). <https://www.actuia.com/actualite/graphcore-processeur-enthousiasme-openai-demis-hassabis-uber-dell-bosch/>
- AEC industry. "Leadership and management in engineering", 11(3), 241-252.
- Ahmed, F. C., & Sekar, S. (2015). "Using three-dimensional volumetric analysis in everyday urban planning processes", *Applied Spatial Analysis and Policy*, 8(4), 393-408.
- Ahuja, V., J. Yang, and R. Shankar (2009). "Benefits of collaborative ICT adoption for building project management". *Constr. Innovation* 9 (3): 323–340, repéré à : <https://doi.org/10.1108/14714170910973529>.
- Aidanpää, M. & Sjöberg, M. (2021). "Digital Transformation: Governance as a Transition Tool: A case study at a Swedish municipality".
- Alam, K. M. & El Saddik, A. (2017). C2PS: A digital twin architecture reference model for the cloud-based cyber-physical systems. *Ieee Access*, 5, 2050-2062.
- Alawadhi, S., Aldama-Nalda, A., Chourabi, H., Gil-Garcia, J. R., Leung, S., Mellouli, S. & Walker, S. (Septembre 2012). "Building understanding of smart city initiatives", In *International conference on electronic government* (pp. 40-53). Springer, Berlin, Heidelberg. Res. 14(1), 23-52 (2018).
- Al-Emadi, A. & Anouze, A.L. (2018). "Grounded theory analysis of successful implementation of e-government projects: exploring perceptions of e-government authorities", *International Journal of Electronic Governance*.
- Al-Hader, M., & Rodzi, A. (2009). "The smart city infrastructure development and monitoring", *Theoretical & Empirical Research in Urban Management*, 2, 11.
- Al-Mashari, M. & Zairi, M. (1999). "BPR implementation process: an analysis of key success and failure factors", *Business Process Management Journal*, Vol. 5, No. 1, pp. 87-112.

- Almeida, N., Trindade, M., Komljenovic, D. & Finger, M. (2022). "A conceptual construct on value for infrastructure asset management", *Utilities Policy*, 75, 101354.
- Alnaggar, A. & Pitt, M. (2019). Lifecycle Exchange for Asset Data (LEAD). A proposed process model for managing asset dataflow between building stakeholders using BIM open standards.
- Al-Shafi, S. & Weerakkody, V. (2007). "Implementing and managing e-government in the State of Qatar: a citizens' perspective," *Electronic Government, an International Journal*, Vol. 4, No. 4, pp. 436-450.
- Alvarez-Romero, S.O. (2014). "Use of building information modeling technology in the integration of the handover process and facilities management", Worcester Polytechnic Institute, Dissertation.
- Andrews, E., Thornton, D., Owen, J., Bleasdale, A., Freeguard, G. & Stelk, I. (2016). *Making a success of digital government*, London, UK.
- Apraez, B.E. & Lavrijssen, S. (2019). "Exploring the regulatory challenges of a possible rollout of smart water meters in the Netherlands". *Competition and Regulation in Network Industries*, 19(3-4), 159-179: <https://doi.org/10.1177/1783591719829421>
- Araral, E. (2020). Why do cities adopt smart technologies? Contingency theory and evidence from the United States. *Cities*, 106, 102873.
- Arup Report (2017). "Block chain Technology. How the Inventions Behind Bitcoin are Enabling a Network of Trust for the Built Environment".
- Ashaye, O.R. & Irani, Z. (2019): "The role of stakeholders in the effective use of e-government resources in public services", *Int. J. Inf. Manage.* 49, 253-270.
- Ashworth, S., Tucker, M., and Druhmann, C. (2016). "The role of FM in preparing a BIM strategy and employer's information requirements (EIR) to align with client asset management strategy." *Proc., 15th Research Symp. at EFMC2016, EuroFM, Milan, Italy*, 218.
- Asset Information, Strategy, Standards and Data Management (2015). Institute of Asset Management (IAM).
- Asset Management – an anatomy. Version 3 (2015). Institute of Asset Management (IAM).
- Asset Management – whole-life management of physical assets, 2010; 2015, Chris Lloyd, éditeur. Londres.
- Asset Management Policy, Strategy and Plans (2015). Institute of Asset Management (IAM).

- Atkin, B. & Bildsten, L. (2017). "A future for facility management", Construction Innovation.
- Atlantic Infrastructure Management Network (AIMN). (2016). Initiation à la planification des actifs.
- Austin J.L. (1970). Quand dire c'est faire, Paris.
- Austin, C. (2018). "A Path to Big Data Readiness" in IEEE International Conference on Big Data, 3rd Workshop on Big Data Governance and Metadata Management (December 10-13, 2018), Science and Technology Strategies Directorate, Science and Technology Branch, Environment and Climate Change, Canada, Gatineau. cvs8.
- Azhar, S. (2011). "Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges".
- Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J. Y., & Leung, B. H. (2008). "Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects", in Proc., First International Conference on Construction in Developing Countries (Vol. 1, pp. 435-446).
- Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J. Y., & Leung, B. H. (2008). "Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects" In Proc., First International Conference on Construction in Developing Countries, Vol. 1, pp. 435-446.
- Balasubramani, B. S., Badhrudeen, M., Derrible, S., & Cruz, I. (2020). Smart data management of urban infrastructure using geographic information systems. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(4), 06020002.
- Bannister, F. (2001). "Dismantling the silos: extracting new value from IT investments in public administration", *Information Systems Journal*, Vol. 11, pp. 65-84.
- Barry Swartz (2014). *The paradoxe of choices: why more is less*.
- Baskerville, R. L. (1999). Investigating information systems with action research. *Communications of the Association of Information Systems*, 2(19), 1-32
- Batty, M. (2018). *Digital twins*: SAGE Publications Sage UK: London, England.
- BEAC-045-13. (2022). « Règlement sur les permis et certificats », Repéré à: beac_045_consolide_fr_2022_05_24.pdf.

- Beaconsfield (2021a). *Accessibilité universelle: Plan d'action à l'égard des personnes handicapées*, p. 28.
- Beaconsfield. (2022). *Clauses techniques particulières: Réfection des chaussées souples*, p. 16.
- Beaconsfield. (2021b). *Directive administrative: Utilisation des actifs technologiques*, p. 5.
- Beaconsfield (2017). *Plan de développement durable 2017-2020*, p. 13.
- Beaconsfield (2018). *Plan d'action: Municipalité Amie des Aînés 2018-2022*, p. 28.
- Beaconsfield (2015). *Procédure de numérisation*, p. 11.
- Beaudet, G. et Shearmur, R. (2019). *L'innovation municipale: sortir des sentiers battus*, Presses de l'Université de Montréal.
- Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2011). "Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management", *Journal of construction engineering and management*, 138(3), 431-442.
- Beillerot, J. (1991). « La 'recherche', essai d'analyse ». *Recherche et Formation*, (9), 17-31. Repéré à : <https://doi.org/10.3406/refor.1991.1040>
- Bekhus, R. (2016). "Do KPIs Used by CIOs Decelerate Digital Business Transformation? The Case of ITIL", in *Diffusion Interest Group in Information Technology*, p. 19.
- Bentley (2018). "About BIM". Repéré à : <https://www.bentley.com/en%20US/Solutions/Buildings/About%20+BIM.htm>
- Berelson B.V. (1954). "Content Analysis", *Handbook of Social Psychology*, G. Lindzey (Ed.), Readings, Addison Wesley.
- Berghaus, S., and Back, A. (2017). "Disentangling the Fuzzy Front End of Digital Transformation: Activities and Approaches", in *Proceedings of 38th International Conference on Information Systems, ICIS 2017*, p. 17.
- Berman, S. J., Korsten, P. J. & Marshall, A. (2016). "A four-step blueprint for digital reinvention", *Strategy & Leadership*, 44(4), pp. 18-25: <https://doi.org/10.1108/SL-06-2016-0042>
- Beynon-Davies, P. & Williams, M.D (2003). "Evaluating electronic local government in the UK", *Journal of Information Technology*. Vol. 18, No. 2, pp. 137-149.

- BIMhub (2018). "BIMhub. Level Up BIM Service. Benefits of BIM". Repéré à : <http://www.bimhub.com/level-bim/>
- Blake S. (2018). "Unsplash Photos for everyone" [Online image]. Repéré à : <https://unsplash.com/photos/1GW45VDkFI0>
- Blockchain France (s-date). « Qu'est-ce que la blockchain? » [Online image]. Repéré en décembre 2018 à : <https://blockchainfrance.net/decouvrir-la-blockchain/c-est-quoi-la-blockchain/>
- Bloomberg, J. (2018). "Digitization and digital transformation: confuse them at your peril", Forbes. Retrieved on August, 28, 2019.
- Bockschecker, A., Hackstein, S. & Baumöl, U. (2018). "Systematization of the Term Digital Transformation and Its Phenomena from a Socio-Technical Perspective", A Literature Review, in Proceedings of the 26th European Conference on Information Systems, ECIS 2018, p. 17.
- Boily, C. (2016). Cours GIU805 : Contexte légal, institutionnel et sociopolitique de la ville. École de Technologie Supérieure. Repéré à : <https://www.etsmtl.ca/etudes/cours/GIU805>
- Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S. & Rezgui, Y. (2020). "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research", Automation in Construction, 114, 103179.
- Bolton, A., M. Enzer, and J. Schooling (2018). "The Gemini principles: Guiding values for the national digital twin and information management framework", Cambridge, UK: Centre for Digital Built Britain.
- Boschert, S. Rosen, Hehenberger, P. Bradley. D (Eds.). "Digital twin-the simulation aspect", Springer International Publishing, Cham (2016), pp. 59-74, https://doi.org/10.1007/978-3-319-32156-1_5 Mechatronic Futures.
- Bosquet, S. (2017). Evelyn Teo Ai Lin: "Le BIM connecte les gens, le projet et les produits". Construction21, France. Repéré à : <https://www.construction21.org/france/articles/fr/evelyn-teo-ai-lin-le-bim-connecte-les-gens-le-projet-et-les-produits.html>
- Boston Consulting Group (2012). « Vos données personnelles valent 315 milliards d'euros », repéré à : <https://www.01net.com/actualites/vos-donnees-personnelles-valent-315-milliards-d-euros-579867.html>
- Boston Consulting Group (2016). "Digital in Engineering and Construction. The Transformative Power of Building Information Modeling". Repéré à :

<http://futureofconstruction.org/content/uploads/2016/09/BCG-Digital-in-Engineering-and-Construction-Mar-2016.pdf>

- Bostrom, R.P. & Heinen, J.S. (1977). "MIS problems and failures: a socio-technical perspective", *MISQ*. 1(3), 17-32.
- Bradley, A., Li, H., Lark, R., & Dunn, S. (2016). "BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective", *Automation in Construction*, 71, 139-152.
- Brockman, G. (2017). « Graphcore: Un processeur qui enthousiasme », OpenAI, Demis Hassabis, Uber, Dell ou encore Bosch. Repéré à : <https://www.actuia.com/actualite/graphcore-processeur-enthousiasme-openai-demis-hassabis-uber-dell-bosch/>
- Broucker, B., De Wit, K. & Verhoeven, J. C. (2018). "Higher education for public value: taking the debate beyond New Public Management," *Higher Education Research & Development*, 37(2), 227-240.
- Brous, P., Janssen, M., & Herder, P. (2020). The dual effects of the Internet of Things (IoT): A systematic review of the benefits and risks of IoT adoption by organizations. *International Journal of Information Management*, 51, 101952.
- Burns, P., Hope, D., and Roorda, J. (1999). "Managing infrastructure for the next generation." *Automation in Constr.*, 8, 689–703
- Campbell, D., Coldicott, T., Kinsella, K., & Draper, R. (2018). *Systemic work with organizations: A new model for managers and change agents*. Routledge.
- Canadian Infrastructure Report Card. (2019). Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes de 2019. Suivi de l'état des infrastructures publiques essentielles du Canada. Repéré à <http://canadainfrastructure.ca/fr/index.html>
- Capital Investment, Operations and Maintenance Decision Making (2015), Institute of Asset Management (IAM).
- Capital expenditures by type of asset. (1996). Statistics Canada, Ottawa.
- Carbonari, G., Ashworth, S., & Stravoravdis, S. (2015). "How facility management can use building information modelling (BIM) to improve the decision making process." *J. Facil. Manage.*, 10(2015), 53–67.
- Carney, T. F. (1990). "The ladder of analytical abstraction", *MB Miles & AM*.

- Caron, D. J., Lyall Nelson, E., & Bernardi, S. (2020). "Municipal governance and information: an exploratory study of the optimal use of 311 data", *Canadian Public Administration*, 63(4), 602-619.
- Centre Régional de Documentation Pédagogique de Besançon (CRDP) (1982). *Guide méthodologique pour la pratique du travail autonome: l'histoire de vie*, Besançon, 22 p.
- CERIU (2017). « Portrait des infrastructures en eau des municipalités du Québec », Rapport d'étape du portrait des infrastructures en eau des municipalités du Québec. Repéré à <https://ceriu.qc.ca/bibliotheque/rapport-etape-du-portrait-infrastructures-eau-municipalites-du-quebec-0>
- CERIU (2022). « Portrait des infrastructures en eau de votre municipalité », Ville de Beaconsfield. p. 8.
- Champagne, E., & Beaudry, C. É. (2018). "The special status of large municipalities in Canada: promises and limitations", *Górnosłaskie Studia Socjologiczne*, 256.
- Chanias, S. (2017). "Mastering Digital Transformation: The Path of a Financial Services Provider towards a Digital Transformation Strategy", in *Proceedings of the 25th European Conference on Information Systems, ECIS 2017*, pp. 16-31.
- Chen, W., Chen, K., Cheng, J.C., Wang, Q., Gan, V.J. (2018): "BIM-based framework for automatic scheduling of facility maintenance work orders", *Automation in Construction*. 91, 15-30.
- Cheng, J. C. P., Lu, Q., & Deng, Y. (2016). "Analytical review and evaluation of civil information modeling". *Automation in Construction*, 67, 31-47. doi: 10.1016/j.autcon.2016.02.006.
- Clark D. (2004). "The Continuum of Understanding" [Online image]. Repéré à : <http://www.nwlink.com/~donclark/performance/understanding.html> Accessed December 2018
- Cocchia, A. (2013). "Smart and digital city: a systematic literature review". In: *NOSTRO LIBRO*.
- Cooper, R. G., Edgett, S. J., & Kleinschmidt, E. J. (2001). *Portfolio management for new products*.
- Cordella, A. & Iannacci, F. (2010). "Information systems in the public sector: The e-Government enactment framework," *Journal of Strategic Information Systems*. Elsevier B.V., 19(1), pp. 52-66: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2010.01.001>.

- Coryn, C. (Pre-publication chapters from Coryn, C. L. S. (2013)). "What is Social Science Re-search and why would we want to evaluate it?" In C. Coryn, *Evaluating social science research: A handbook for researchers, instructors, and students.* (pp. 1-32). New York, Guilford.
- Coursey, D. & Norris, D.F. (2008). "Models of e-government: Are they correct? An empirical Assessment", *Public administration review*, 68(3), 523-536.
- Creusé, E. (2021). "The new challenges of the digital transition of municipalities".
- Dameri, R. P. (2013). "Searching for smart city definition: a comprehensive proposal", *International Journal of Computers & Technology*, 11(5), 2544–2551, (Council for Innovative Research).
- Dameri, R. P. (2014). "Comparing Smart and Digital City: initiatives and strategies in Amsterdam and Genoa. Are they Digital and/or Smart?" In *Smart city* (pp. 45-88). Springer.
- Daugherty, P. (2017). « Tendances Technologiques 2017/Accenture ». Repéré à : <https://www.accenture.com/ca-fr/insight-disruptive-technology-trends-2017>
- Davis, R. (2016). "An introduction to asset management".
- D’Cruz, J. R. (2018). *Strategic Management of Subsidiaries 1*. In *Managing the multinational subsidiary* (pp. 75-89). Routledge.
- De Sède M. H. et Moine A. (2001). *Systémique et bases de données territoriales*, *Revue Internationale de Géomatique*, 11 (3-4) : 333-358.
- De Toni, A. F., & Nonino, F. (2009). "The facility management: noncore services definitions and taxonomy", *Open Facility Management. A successful implementation in a public administration*, 3-28.
- Dejaco, M. C., Re Cecconi, F., Moretti, N., Mannino, A., & Maltese, S. (2020). "Building and district data organization to improve facility and property management", in *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*, pp. 255-265, Springer, Cham.
- Demian, P., & Walters, D. (2014). "The advantages of information management through building information modelling", In *Construction management and economics*, 32(12), 1153-1165.
- Demirkan, H., Spohrer, J. C., and Welser, J. J. (2016). "Digital Innovation and Strategic Transformation", *IT Professional* (18:6), IEEE, pp. 14-18.

- Desbiens, M-É. (2016). Cours GIU804, gestion des actifs, École de Technologie Supérieure, repéré à : <https://www.etsmtl.ca/etudes/cours/GIU804>
- Desdemoustier, J., Crutzen, N., & Giffinger, R. (2019). Municipalities' understanding of the Smart City concept: An exploratory analysis in Belgium. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 129-141.
- Desmarais, C. & Moscarola, J. (2004). « Analyse de contenu et analyse lexicale, le cas d'une étude en management public », in Proceedings of the symposium, « L'analyse de données textuelles: De l'enquête aux corpus littéraires ».
- Desthieux, G. (2005). Approche systémique et participative du diagnostic urbain. EPFL.
- Dhillon, G. S., Weerakkody, V. & Dwivedi, Y. K. (2008). "Realising transformational stage e-government: a UK local authority perspective", *Electronic Government, An International Journal*, 5(2), 162-180.
- DiMaggio, P.J. & Powell, W. W. (1983). "The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields", In *American sociological review*, 147-160.
- Ding, K., Shi, H., Hui, J., Liu, Y., Zhu, B., Zhang, F., & Cao, W. (2018). "Smart steel bridge construction enabled by BIM and Internet of Things in industry 4.0: A framework". In 2018 IEEE 15th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC) (pp. 1-5). IEEE. Eng. 6, 184-195.
- Ding, L., R. Drogemuller, P. Akhurst, R. Hough, S. Bull, and C. Linning (2009). "Towards sustainable facilities management." In *Technology, design and process innovation in the built environment*, edited by P. Newton, K. Hampson & R. Drogemuller. Abingdon, UK: Taylor & Francis.
- Dionne B. G. (2017). Présentation : « La micro-géodésie au service des professionnels. Les nouveaux outils pour soutenir le BIM », repéré à : <https://www.bimquebec.org/>
- Dionne, B. (2017). « La micro-géodésie au service des professionnels du BIM ». Communication présentée à la conférence sur les nouveaux outils pour soutenir le BIM, ÉTS, repéré à : <https://www.bimquebec.org>
- Divay, G. (2020). *Le management municipal, Tome 2: Les défis de l'intégration locale*, PUQ.
- Dnd F. (2017). "Unsplash Photos for everyone" [Online image]. Repéré à : <https://www.pexels.com/fr-fr/photo/appareil-photo-drone-vol-voler-2100075/>

- Dossick, C. S., & Neff, G. (2011). "Messy talk and clean technology: communication, problem-solving and collaboration using Building Information Modelling", *The Engineering Project Organization Journal*, 1(2), 83-93.
- Dunleavy, P., Loughlin, M., Margetts, H., Bastow, S., Tinkler, J., Pearce, O. & Bartholomeou, P. (2005). "Citizen redress: what citizens can do if things go wrong in the public services".
- Dykes, J. (2010). "GeoVisualization and the digital city". *Computers, Environment and Urban Systems*, 34, 443–451. Elsevier.
- Eadie, R., Odeyinka, H., Browne, M., McKeown, C. & Yohanis, M. (2014). "Building information modelling adoption: an analysis of the barriers to implementation", *Journal of Engineering and Architecture*, 2(1), 77-101.
- Eastman, C. M., Eastman, C., Teicholz, P., & Sacks, R. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, John Wiley & Sons.
- Ebrahim, Z. & Irani, Z. (2005) "E-government adoption: architecture and barriers", *Business Process Management Journal*, Vol. 11, No. 5, pp. 589-611.
- Egan, J. (1998). "Rethinking Construction, Department of Trade and Industry (DTI), London". Repéré à http://constructingexcellence.org.uk/wp-content/uploads/2014/10/rethinking_construction_report.pdf
- Elmurngi, E. (2020). "Approaches based on sentiment analysis and supervised learning techniques for robust reputation systems in the e-commerce environment" (Doctoral dissertation, Graduate School of Technology).
- Engonopoulos, N., Lazaridou, A., Paliouras, G. & Chandrinos, K. (2011). "ELS: a word-level method for entity-level sentiment analysis. Proceedings of the International Conference on Web Intelligence", *Mining and Semantics*, p. 12.
- Epstein, J. (2017). "Why you want block chain-based AI, even if you don't know it yet". Repéré à : <https://venturebeat.com/2017/12/23/why-you-want-blockchain-based-ai-even-if-you-dont-know-it-yet/>
- ESILV. (2019). « Jumeau numérique : l'IoT au service de la simulation ». Repéré à : <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1489511-jumeau-numerique-l-iot-au-service-de-la-simulation-20200320/>
- Eynon, R. & Dutton, W.H (2007). "Barriers to networked governments: evidence from Europe", *Prometheus* 25(3), 225-242.

- Fan, C., Zhang, C., Yahja, A., & Mostafavi, A. (2021). Disaster City Digital Twin: A vision for integrating artificial and human intelligence for disaster management. *International Journal of Information Management*, 56, 102049.
- Farghaly, K., Abanda, F. H., Vidalakis, C., & Wood, G. (2018). "Taxonomy for BIM and asset management semantic interoperability", *Journal of Management in Engineering*, 34(4), 04018012.
- Farra, N., Challita, E., Assi, R.A. & Hajj, H. (2010). "Sentence-level and document-level sentiment mining for arabic texts", 2010, IEEE International conference on data mining workshops, pp. 1114-1119.
- Floridi, L. (2013). *The Philosophy of Information*, OUP Oxford.
- Ford, G. L., Ancell, G., Hill, E. S., Levine, J., Reali, C., Rijks, E., & Sanchis, G. (2022). "Tactical Asset Management", in *Power System Assets: Investment, Management, Methods and Practices*, pp. 175-200, Cham: Springer International Publishing.
- Forgues, Daniel & Lauri Koskela (2009). "The influence of a collaborative procurement approach using integrated design in construction on project team performance", *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 2, no 3, p. 370-385.
- Folkman, S. (2018). *Water main break rates in the USA and Canada: A comprehensive study*.
- Fortin M.F. & Gagnon J. (2016). *Fondements et étapes du processus de recherche: Méthodes quantitatives et qualitatives*, 3e édition, Montréal, Québec, Canada, Chenelière éducation.
- Fountain, J. E. (2001). *Building the Virtual State: Information Technology and Institutional Change*, Brookings Institution Press.
- Fountain, J. E., & Osorio-Urzua, C. A. (2001). "Public sector: Early stage of a deep transformation", *The economic payoff from the internet revolution*, 235-268.
- Fountain, J.E. (2004). "Prospects for the Virtual State," disponible à: <http://www.j.utokyo.ac.jp/coeps/pdf/040710.pdf>.
- Fixed capital flows and stocks, 1961–1994 historical. (1994). Statistics Canada, Ottawa.
- Frennert, S. (2018). *Lost in digitalization? Municipality employment of welfare technologies. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*.
- Gagnon, Y. C. (2005). *L'étude de cas comme méthode de recherche: guide de réalisation*. PUQ.

- Gascó, M. (2003). "New Technologies and Institutional Change in Public Administration," *Social Science Computer Review*, Vol. 24, No. 1, pp. 6-14.
- Gasparro, K., & Monk, A. (2020). Demystifying “localness” of infrastructure assets: Crowdfunders as local intermediaries for global investors. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 52(5), 878-897.
- Gauthier, B. (2003). « La théorie et le sens de la recherche », *Recherche Sociale de la problématique à la collecte des données*.
- GCwiki. (2020). « Jumeaux numériques ». Repéré à : https://wiki.gccollab.ca/Tendances_Technologiques/Jumeaux_numerique#cite_note-8
- GE Digital (2017). “Digital twins: The bridge between industrial assets and the digital world.” Accessed December 20, 2017. <https://www.ge.com/digital/blog/digital-twins-bridge-between-industrial-assets-and-digital-world>.
- Gervais, A. (2019). Plan de mobilité active 2ème génération. Ville de Beaconsfield, p. 25.
- Giest, S. & Samuels, A. (2020). "For good measure: data gaps in a big data world", *Policy Sciences*, 53(3), 559-569.
- Giest, S. (2017). "Big data for policymaking: fad or fast-track?" *Policy Sciences*, 50(3), 367-382.
- Global Infrastructure Hub. (2016). "Forecasting infrastructure investment needs and gaps". Repéré à : https://outlook.gihub.org/?utm_source=GIHub+Homepage&utm_medium=Project+tile&utm_campaign=Outlook+GIHub+Tile
- Gould, L. (2010). “What is BIM... and should we care?” *Construction Research and Innovation*, 1(2), 26-31.
- Gouvernement du Canada (2018). « La gestion axée sur les résultats » repéré à : https://www.international.gc.ca/world-monde/funding-financement/results_based_management-gestion_axee_resultats.aspx?lang=fra
- Gouvernement du Canada (2020). « À propos de Services publics et Approvisionnement Canada ». Repéré à : <https://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/apropos-about/prps-bt-fra.html>
- Goux-Baudiment F. (2000). Donner du futur aux territoires, Certu, Lyon.
- Gravel, R.J. & Baudin, G. (1994). La méthodologie du questionnaire: guide à l'usage de l'enquêteur, Éd. Bo-Pré.

- Green, S. D., Kao, C. C. Larsen, G. D. (2010). "Conceptualist Research: Iterating between Methods While Following an Empirically Grounded Approach", *Journal of Construction Engineering and Management*, 136, 117-126.
- Grievés, M. (2014). "Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication", White paper, 1, 1-7.
- Groleau, D., Zelkowitz, P., & Cabral, I. E. (2009). "Enhancing generalizability: moving from an intimate to a political voice", *Qualitative health research*, 19(3), 416-426.
- Groupe BC2 (2017). Plan directeur des parcs et espaces verts. Ville de Beaconsfield, p. 67.
- Groupe Conseil Carbone (2020). Plan d'adaptation aux changements climatiques 2021-2025, p. 120.
- Guenduez, A. A., Singler, S., Tomczak, T., Schedler, K. & Oberli, M. (2018). "Smart government success factors", *Swiss Yearbook of Administrative Sciences*, 9(1), 96-110: <https://doi.org/10.5334/ssas.124>
- Guillen, A., Crespo, A., Gómez, J., González-Prida, V., Kobbacy, K., & Shariff, S. (2016). "Building Information Modeling as Asset Management Tool". *Ifac-Papersonline*, 49(28), 191-196.
- Guittet, André (1990). *L'entretien*, 31e éd., Paris, Armand Collin, p. 30.
- GVA (2018). Repéré à : <https://www.gva.co.uk/>
- Haider, A. (2012). "Information systems for engineering and infrastructure asset management", Springer Science & Business Media.
- Hájek, P., Tywoniak, J., Lupíšek, A., & Sojková, K. (2016). "CESB16—Central Europe towards Sustainable Building 2016", *Economics*, 44(2-3), 165-185.
- Halama S. (2017). "Unsplash Photos for everyone" [Online image]. Repéré à : <https://unsplash.com/photos/Pk5IA7eUvCM>
- Hall, P. (2000). "Creative cities and economic development", *Urban Studies*, 37(4), 633–649.
- Hans. van der Kwast, Kelly. Fouchy (2016). "SIG & Infrastructures de Données Spatiales".
- Hartono, Edward, and Clyde Holsapple (2004). "Theoretical foundations for collaborative commerce research and practice". *Information systems and e-business management*, vol. 2, no 1, p. 1-30.

- Harty, C., Throssell, D., Jeffrey, H., & Stagg, M. (2010). "Implementing building information modeling: a case study of the Barts and the London hospitals", in: Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. Nottingham (UK): ICCBE.
- Harvatopoulos, Y., Livian Y.-F. & Sarnin, P. (1989). *L'art de l'enquête: guide pratique*, Paris, Éd. Eyrolles, 1989, p. 46.
- Hevner, A.R.; March, S.T.; and Park, (2004), J. Design research in information systems research. *MIS Quarterly*, 28, 1 75–105.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2008). "Design science in information systems research", *Management Information Systems Quarterly*, 28(1), 6.
- Hevner, A., & Chatterjee, S. (2010). "Design science research in information systems", in *Design research in information systems*, pp. 9-22, Springer.
- Höchtel, J., Parycek, P., & Schöllhammer, R. (2016). "Big data in the policy cycle: Policy decision making in the digital era", *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 26(1-2), 147-169.
- Hoeber, H., & Alsem, D. (2016). "Life-cycle information management using open-standard BIM", *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- Howard, R., & Björk, B.-C. (2008). "Building information modeling—Experts views on standardisation and industry deployment", *Advanced Engineering Informatics*, 22(2), 271-280.
- Howell, S., & Rezgui, Y. (2018). "Beyond BIM: Knowledge Management for a Smarter Built Environment", IHS Markit Publications: London, England.
- Hutsel, S. & Bush, L. (2016). « La conjonction de BIM, GIS et CIM » [Online image]. Integrated Data Capture, BIM, CIM, GIS, and CAD-Owner and Industry Perspectives on Products, Processes and Policies for Informed Decision Making. SPAR 3D Expo and Conference. Repéré à : <http://www.bowmanconsulting.com/Content/Downloads/Spar3D/2016%20USACE-Bowman%20SPAR3D%20-%20presentation%20version%20-%2020160413.pdf>
- Hutsel, S., & Bush, L. (2016). "Integrated Data Capture, BIM, CIM, GIS, and CAD-Owner and Industry Perspectives on Products, Processes and Policies for Informed Decision Making", SPAR 3D Expo and Conference. Repéré à : <http://www.bowmanconsulting.com/Content/Downloads/Spar3D/2016%20USACE-Bowman%20SPAR3D%20-%20presentation%20version%20-%2020160413.pdf>

- Ibrahim, K. F., Abanda, F. H., Vidalakis, C., and Woods, G. (2016). "BIM for FM: Input versus output data". Proc., 33rd CIB W78 Conf., CIB W78, Brisbane, Australia.
- Info-excavation (2016). « Rapport de bris abrégé 2016. 3 ». Repéré à <http://www.info-ex.com/wp-content/uploads/2013/11/Rapport-de-bris-abr%C3%A9g%C3%A9-Statistiques-2016-dInfo-Excavation2.pdf>
- InfraGuide. (2006). Guide national pour des infrastructures municipales durables. Prise de décisions et planification des investissements. Gestion d'un actif d'infrastructures. Repéré à : <https://fcm.ca/sites/default/files/documents/resources/guide/infraguide-gestion-un-actif-infrastructures-pgam.pdf>
- Ingildsen, P. & Olsson, G. (2016). Smart water utilities: Complexity made simple, IWA Publishing.
- Initiation à la planification des actifs, 2016, Atlantic Infrastructure Management Network (AIMN).
- INSPQ : Institut national de santé publique, 2020. Repéré à : <https://www.inspq.qc.ca/publications/types-de-publication/cadre-de-reference>
- Institute of Asset Management (IAM). (2014). Asset Management – an anatomy Version 3.
- International Infrastructure Management Manual (2015). Institute of Public Works Engineering Australasia (IPWEA).
- IPWEA. 2018. WHAT IS NAMS? Repéré à : <https://www.ipwea.org/communities/am/assetmanagement>
- ISO 19650-1 (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles.
- ISO 55000 (2014). Asset Management – Overview, principles and terminology.
- Jakob, M. & Krcmar, H. (2018). "Which barriers hinder a successful digital transformation in small and medium-sized municipalities in a federal system?" in Central and Eastern European eDem and eGov Days, pp. 141-150.
- Janssen, M, & Helbig, N. (2018). "Innovating and changing the policy-cycle: Policy-makers be prepared!" Government Information Quarterly, 35(4), S99-S105: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2015.11.009>

- Janssen, M. & Cresswell, A. M. (2005). "An enterprise application integration methodology for e-government", *Journal of Enterprise Information Management*, Vol.18, No.5, pp. 531-547.
- Janssen, M. & Van der Voort, H. (2016). "Adaptive governance: Towards a stable, accountable and responsive government," *Government Information Quarterly*, 33(1), pages 1-5: <http://dx.doi.org/10.1016/j.giq.2016.02.003>.
- Janssen, M. & Wagenaar, R. (2004). "Developing Generic Shared Services for e-Government," *The Electronic Journal of e-Government*, Vol. 2, No. 1, pp. 31-38.
- Järvinen, P. (2004). *On research methods*, Tampere, Opinpajan Kirja.
- Johnson-Laird P.N. (1994). *The computer and the mind*, Paris, Odile Jacob.
- Junge, K., Kelleher, J. & Hadjivassiliou, K. (2006). "What is the scope for organisational change in the public sector in Europe?" *The Tavistock Institute*: <http://www.ccegov.eu/>
- K2 Geospatial (2020). *Géomatique: Analyse de la situation actuelle et recommandations*. Ville de Beaconsfield, p. 26.
- Kahre, C., Hoffmann, D., and Ahlemann, F. (2017). "Beyond Business-IT Alignment - Digital Business Strategies as a Paradigmatic Shift: A Review and Research Agenda", *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences (2017)*, pp. 4706-4715.
- Kamara, J. M., Anumba, C. J., & Evbuomwan, N. F. (2000). "Process model for client requirements processing in construction", in *Business Process Management Journal*.
- Kassem, M., Kelly G., Dawood, N., Serginson, M., Lockley, S. (2015). "BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex Built Environment", *Project and Asset Management* Vol. 5 No. 3, 261-277.
- Kaufmann, V. (2014). *Back to the city: Motility and urban transformations*, PPUR Press.
- Kincaid, D. (1994). "Integrated facility management", *Facilities*.
- Kinnaird, C., Geipel, M., & MBE, M. B. (2017). *Blockchain Technology*. "How the Inventions Behind Bitcoin are Enabling a Network of Trust for the Built Environment". Arup report.
- Klievink, B., Bharosa, N. & Tan, Y.H. (2016). "The collaborative realization of public values and business goals: Governance and infrastructure of public-private information platforms". *Government information quarterly*, 33(1), 67-79.

- Klievink, B., Romijn, B. J., Cunningham, S. & de Bruijn, H. (2017). "Big data in the public sector: Uncertainties and readiness". *Information systems frontiers*, 19(2), 267-283.
- Knobloch, K. R., Gastil, J., Reitman, T., & Farnea, V. (2019). « Délibérer avant le référendum d'initiative citoyenne », *Oregon Citizens' Initiative Review. Participations*, (1), 93-121.
- Koeninger, A., & Bartel, S. (1998). "3D-GIS for urban purposes". *GeoInformatica*, 2(1), 79-103.
- Koks, E. E., Rozenberg, J., Zorn, C., Tariverdi, M., Voudoukas, M., Fraser, S. A., ... & Hallegatte, S. (2019). A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets. *Nature communications*, 10(1), 1-11.
- Koutsogiannis, A. (2017). "Go Mobile, Go Cloud. But Keep the Data!" Repéré à : <https://geniebelt.com/blog/go-mobile-go-cloud-but-keep-the-data>
- Koutsogiannis, A., & Berntsen, N. (2017). "Blockchain and construction: the how, why and when". Repéré à : <http://www.bimplus.co.uk/people/blockchain-and-construction-how-why-and-when/>
- Kuechler, B., & Vaishnavi, V. (2008). "On theory development in design science research: anatomy of a research project". *European Journal of Information Systems*, 17(5), 489-504.
- Laitinen, J., Kallio, J., Katko, T. S., Hukka, J. J., & Juuti, P. (2020). Resilient Urban Water Services for the 21th Century Society—Stakeholder Survey in Finland. *Water*, 12(1), 187.
- Lalonde, É. (2016). « GIU806 TI et outils d'aide à la décision en milieu urbain ». École de Technologie Supérieure. Repéré à : <https://www.etsmtl.ca/etudes/cours/GIU806>
- Lam, W. (2005). "Investigating Success Factors in Enterprise Application Integration: a case-driven analysis", *European Journal of Information Systems*. Vol. 14, no. 2, pp. 175-187.
- Lapedra, R., Alegre, J. & Chiva, R. (2006). "User participation on the development of information systems", in *European and Mediterranean Conference on Information Systems (EMCIS)*, Costa Blanca, Alicante, Spain, pp. 1-10.
- Latham, M. (1994). "Constructing the Team, Her Majesty's Stationary Office (HMSO), London". Repéré à <http://constructingexcellence.org.uk/resources/constructing-the-team-the-latham-report/>

- Laurencelle, L. (2005). *Abrégé sur les méthodes de recherche et la recherche expérimentale*. PUQ.
- Lavertu, S. (2016). "We all need help: 'big data' and the mismeasurement of public administration", *Public Administration Review*, 76(6), 864-872: <https://doi.org/10.1111/puar.12436>
- Law, C.-w., Lee, C.-k., Lui, A. S.-w., Yeung, M. K.-l., & Lam, K.-C. (2011). "Advancement of three-dimensional noise mapping in Hong Kong". *Applied Acoustics*, 72(8), 534-543.
- Layne, K. & Lee, J. (2001). "Developing fully functional E-government: A four stage model", *Government information quarterly*, 18.
- Lee, J., & Kwan, M.-P. (2005). "A combinatorial data model for representing topological relations among 3D geographical features in micro-spatial environments". *International Journal of Geographical Information Science*, 10(9), 1039-1056.
- Lee, J., Jeong, Y., Oh, Y.S., Lee, J.C., Ahn, N., Lee, J., Yoon, S.H. (2013). "An integrated approach to intelligent urban facilities management for real-time emergency response", *Autom. Constr.*30, 256-264.
- Leica Geosystems. 2018a. *Opti-cal surveyequipment.com*. [Online image]. Repéré à : <https://surveyequipment.com/leica-blk360-imaging-laser-scanner/> Accessed December 2018.
- Lember, V., Kattel, R. & Tonurist, P., (2016). "Public Administration, Technology and Administrative Capacity": <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25115.87845>
- Lewin, K. (1991). *Conduct, Knowledge and Acceptance of New Values*, Tellier & Roger ed. Planned and spontaneous change, 1-12.
- Lewis, J. M., Ricard, L. M., Klijn, E.-H., Grotenbreg, S., Ysa, T., Adrià, A. & Kinder, T. (2015). "Innovation environments and innovation capacity in the public sector".
- Li, H., Lu, W., & Huang, T. (2009). "Rethinking project management and exploring virtual design and construction as a potential solution", *Construction Management and Economics*, 27(4), 363-371.
- Life Cycle Value Realisation (2015). Institute of Asset Management (IAM).
- Liu, B. (2012). "Sentiment analysis and opinion mining. Synthesis lectures on human language technologies", 5(1), 1-167.

- Liu, S. & Hwang, J.D. (2003). "Challenges to transforming IT in the US government," *IT Professional*, Vol. 5, No. 3, pp. 10-15.
- Iivari, J., & Venable, J. R. (2009). Action research and design science research-Seemingly similar but decisively dissimilar.
- Local Government Amendment (1996). Act (No 3). Repéré à : <http://legislation.govt.nz/act/public/1996/0083/latest/DLM394123.html>
- Lombardi, P. et al. (2012). "Modeling the smart city performance". *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25(2), 137-149.
- Love, P. E., & Matthews, J. (2019). The 'how' of benefits management for digital technology: From engineering to asset management. *Automation in Construction*, 107, 102930.
- Love, P. E., Matthews, J., Simpson, I., Hill, A., & Olatunji, O. A. (2014). "A benefits realization management building information modeling framework for asset owners", *Automation in construction*, 37, 1-10.
- Love, P.E.D., Matthews, J., Simpson, I., Hill, A., Olatunji, O.A. (2014). "A benefits realization management building information modeling framework for asset owners". *Automation in Construction* 37, 1-10.
- Lu, Q., Parlikad, A. K., Woodall, P., Don Ranasinghe, G., Xie, X., Liang, Z., Schooling, J. (2020). "Developing a Digital Twin at Building and City Levels: Case Study of West Cambridge Campus", *Journal of Management in Engineering*, 36(3), 05020004.
- Lu, Q., Xie, X., Heaton, J., Parlikad, A. K., & Schooling, J. (2019). "From BIM towards digital twin: Strategy and future development for smart asset management", in *International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing*.
- Luna-Reyes, LF, Zhang, J, Gil-Garcia, JR & Cresswell, AM (2005). "Information systems development as emergent socio-technical change: a practice approach", *European Journal of Information Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 93-105.
- Lussier, K., et Lavoie, C. (2022). "Between the calabash and the basket: conducting semi-structured interviews in African contexts", *Recherches qualitatives*, 31(1), 62-88.
- Ma, X., F. Xiong, T. O. Olawumi, N. Dong, and A. P. Chan (2018). "Conceptual framework and roadmap approach for integrating BIM into lifecycle project management". *J. Manage. Eng.* 34 (6): 05018011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000647](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000647)

- Maciejewski, M. (2017). "To do more, better, faster and more cheaply: Using big data in public administration," *International Review of Administrative Sciences*, 83(1_suppl), 120-135.
- Madni, A. M., Madni, C. C., & Lucero, S. D. (2019). "Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering", *Systems*, 7(1), 7. Maintenance management using CAFM database: data analysis and new results. *J. Build.*
- Magnusson, J., Koutsikouri, D. & Päivärinta, T. (2020). "Efficiency creep and shadow innovation: enacting ambidextrous IT governance in the public sector", *European Journal of Information Systems*, 29(4), pp. 329-349: <https://doi.org/10.1080/0960085x.2020.1740617>
- Mahmoud R. Halfawy, Dana J. Vanier, and Thomas M. Froese. (2007). Standard data models for interoperability of municipal infrastructure asset management systems. Repéré à : 20378377.pdf
- Maletič, D., Marques de Almeida, N., Gomišček, B., & Maletič, M. (2022). "Understanding motives for and barriers to implementing asset management system: an empirical study for engineered physical assets", *Production Planning & Control*, 1-16.
- MAMOT : Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire et CERIU : Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (2014). Guide de gestion des actifs municipaux l'intention des gestionnaires municipaux.
- Manny, L., Duygan, M., Fischer, M. & Rieckermann, J. (2021). "Barriers to the digital transformation of infrastructure sectors", *Policy sciences*, 54(4), 943-983.
- Mao, B., Harrie, L., Cao, J., Wu, Z., & Shenc, J. (2014). "NOSQL based 3D city model management system". In H.
- March, S.T. and Smith, G.F. (1995). Design and natural science research on information technology, *Decision Support Systems*, 15, 251-266.
- Marshall, A., Mueck, S. & Shockley, R. (2015). "How leading organizations use big data and analytics to innovate", *Strategy & Leadership*, 43(5), 32-39: <https://doi.org/10.1108/SL-06-2015-0054>
- Matheus, R., Janssen, M. & Maheshwari, D. (2020). "Data science empowering the public: Data-driven dashboards for transparent and accountable decision-making in smart cities", *Government Information Quarterly*, 37(3), 101284.
- Matt, C., Hess, T., and Benlian, A. (2015). "Digital Transformation Strategies, Business and Information Systems Engineering", (57:5), pp. 339-343.

- McGill, É. D. U. (2019). « L'innovation municipale: L'entrepreneuriat dans l'administration publique locale », *Introduction à la vie politique municipale québécoise*, 93.
- McGloin D. (2015). "Unsplash Photos for everyone" [Online image]. Repéré à : <https://unsplash.com/photos/iVguHY5hPXs>
- McGraw-Hill (2012). "The business value of BIM in North America: multi-year trend analysis and user ratings" (2007-2012). *Smart Market Report*. Repéré à : <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2012/12/MHC-Business-Value-of-BIM-in-North-America-2007-2012-SMR.pdf>
- McKinsey & Company. (2017). "Bridging infrastructure gaps: Has the world made progress?" Repéré à : <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/bridging-infrastructure-gaps-has-the-world-made-progress>
- Mckinsey Global industrie (2017). « Les nouvelles technologies, une révolution qui n'a rien de tranquille ». Repéré à : <https://www.desjardins.com/ressources/pdf/per1117f.pdf?resVer=1511981381000>
- Meijer, A.J. (2015). "E-governance innovation: barriers and strategies", *Government Information Quarterly*, 32(2), 198-206.
- Mergel, I. (2015). "Opening government: Designing open innovation processes to collaborate with external problem solvers", *Social science computer review*, 33(5), 599-612.
- Mergel, I., Edelmann, N. & Haug, N. (2019). "Defining digital transformation: results from expert interviews", *Gov. Inf. Q.* 36(4), 1-16.
- Mergel, I., Kleibrink, A. & Sörvik, J. (2018). "Open data outcomes: U.S. cities between product and process innovation", *Government Information Quarterly*, 35(4), 622-632: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.09.004>
- Mergel, I., Rethemeyer, R. K. & Isett, K. (2016). "Big data in public affairs", *Public Administration Review*, 76(6), 928-937.
- Merschbrock, C. (2012). "Collaboration in multi-actor BIM design". In *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*. p. 793-799. CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/b12516-127>. Récupéré le 02/07/2014.
- Mican, V., & Česelský, J. (2014). "Description of the state of public buildings property management in the Czech Republic", in *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 584, pp. 2462-2465). Trans Tech Publ.
- Mikalef, P., Lemmer, K., Schaefer, C., Ylinen, M., Fjørtoft, S. O., Torvatn, H. Y., ... & Niehaves, B. (2022). *Enabling AI capabilities in government agencies: A study of*

- determinants for European municipalities. *Government Information Quarterly*, 39(4), 101596.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (2003). "Analysis of qualitative data", De Boeck Supérieur.
- Miles, M. B., Huberman, A. M. & Saldaña, J. (2018). "Qualitative data analysis: A methods source book", Sage publications.
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT) et Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU) (2014). « Guide de gestion des actifs municipaux à l'intention des gestionnaires municipaux ».
- Mohammad, K. (2009). "E-leadership: the emerging new leadership for the virtual organization", *J. Manag. Sci.* 3(1), 1-21.
- Mohammadi, N., & Taylor, J. E. (2017). "Smart city digital twins". Dans 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI) (pp. 1-5). IEEE.
- Mahmoud R. Halfawy, Dana J. Vanier, and Thomas M. Froese. (2007). Standard data models for interoperability of municipal infrastructure asset management systems. Repéré à : 20378377.pdf
- Mohseni, M. (Septembre 2003). "What does asset management mean to you? " In 2003 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (IEEE Cat. No. 03CH37495) (Vol. 3, pp. 962-964). IEEE.
- Moon, M.J. (2002). "The evolution of e-government among municipalities: rhetoric or reality?" *Public Administration Review*, 62(4), 424-433.
- Moritz, M. (2016). "Big data and eco-intelligent municipalities", *I2D-Information, data documents*, 53(1), 62-63.
- Mullarkey, M. T., & Hevner, A. R. (2019). An elaborated action design research process model. *European Journal of Information Systems*, 28(1), 6-20
- Muller C. (1993). "Principles and methods of lexical statistics", Geneva, Champion.
- Municipalité d'Abu Dhabi (2018). Repéré à : <https://dmat.abudhabi.ae/ar/ADM/Pages/Home.aspx>
- Muse, P., & Gagnon, Y.-C. (2012). *L'étude de cas comme méthode de recherche*, 2e édition. Presses de l'Université du Québec.

- National Institute of Building Science (NIBS) (2007). "National building information modeling standard-version 1.0 - part 1- overview, principles and methodologies".
- Nagorny-Koring, N. C. (2019). Leading the way with examples and ideas? Governing climate change in German municipalities through best practices. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 21(1), 46-60.
- Nävy, J. (2018). *Facility Management*, Springer Berlin Heidelberg.
- Neuer, L. (2018). « Ceux qui détiennent les données possèdent le pouvoir. » Repéré à : http://www.lepoint.fr/chroniqueurs-du-point/laurence-neuer/ceux-qui-detiennent-les-donnees-possedent-le-pouvoir-23-03-2018-2204904_56.php
- NIC (National Infrastructure Commission) (2017). "Data for the public good". Récupéré en 2017. <https://www.nic.org.uk/wp-content/uploads/Data-for-the-Public-Good-NIC-Report.pdf>.
- Nograšek, J., & Vintar, M. (2014). "E-government and organisational transformation of government: Black box revisited?" *Government Information Quarterly*, 31(1), 108-118.
- Nor, M., & Azman, N. (2014). "Facility management history and evolution", *International Journal of Facility Management*, 5(1).
- Northstream (2010). "White paper on revenue opportunities". Repéré à : <http://northstream.sewhite-paper/archive>.
- Objectif BIM (2017). « Le BIM : Signification, définition et explications ». Repéré sur Guide du BIM à : <http://www.objectif-bim.com/index.php/technologie-bim/interoperabilite-echange-des-donnees-bim>
- Ogunba, O. A., Dabara, D. I., & Gbadegesin, J. T. (2021). "Sustainable real estate management practice: Exploring the priority of operational stage for actualizing sustainable built environment goal in sub-Saharan Africa", *International Journal of Construction Management*, 1-10.
- Olatunji, O. A., & Akanmu, A. (2015). "BIM-FM and consequential loss: how consequential can design models be?" *Built Environment Project and Asset Management*, 5(3), 304-317.
- OQLF : Office québécois de la langue française (2017). FICHE TERMINOLOGIQUE. chaîne de blocs. Repéré à : http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26531717
- Organisation Structure and Culture (2015). *Institute of Asset Management (IAM)*.

- Oxford University Press (2016). Definition of infrastructure, repéré à <https://en.oxforddictionaries.com/definition/infrastructure>
- Palepu, K. G., Healy, P. M., Wright, S., Bradbury, M., & Coulton, J. (2020). *Business analysis and valuation: Using financial statements*. Cengage AU.
- Parliamentary counsel office (1996). Local Government Amendment Act (No 3) 1996. Repéré à : <http://legislation.govt.nz/act/public/1996/0083/latest/DLM394123.html>
- Pärn, E. A., D. J. Edwards, and M. C. P. Sing (2017). "The building information modelling trajectory in facilities management: A review". *Autom. Constr.* 75 (Mar): 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.12.003>.
- PAS 1192-2 (2013). "Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modeling".
- PAS 55- 1:2008. "Asset Management". <http://www.irantpm.ir/wp-content/uploads/2014/01/pass55-2008.pdf>
- Patacas, J. M. D. L., Dawood, N., Greenwood, D., & Kassem, M. (2016). "Supporting building owners and facility managers in the validation and visualisation of asset information models (AIM) through open standards and open technologies", *Journal of Information Technology in Construction*, 21, 434-455.
- Patterson, E. A., Taylor, R. J., & Bankhead, M. (2016). "A framework for an integrated nuclear digital environment", *Progress in Nuclear Energy*, 87, 97-103.
- Pauzé, E. (1984) *Techniques d'entretien et d'entrevue*, Outremont, Éd. Moduco, p. 63.
- Pedersen, K. (2018). "E-government transformations: challenges and strategies", *Transform. Gov. People Process Policy*, 12(1), 84-109.
- Pereira, G. V., Luna-Reyes, L. F., & Gil-Garcia, J. R. (2020). "Governance innovations, digital transformation and the generation of public value in Smart City initiatives". In *Proceedings of the 13th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*, pp. 602-608.
- Petchrompo, S., & Parlikad, A. K. (2019). A review of asset management literature on multi-asset systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 181, 181-201.
- Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems*, 24(3), 45-77.

- Pierrevelcin, N. (2007). « Les défusions municipales sur l'île de Montréal comme stratégie d'affirmation culturelle », *Recherches sociographiques*, 48(1), 65-84. <https://doi.org/10.7202/016207ar>
- Planifika (2018). Plan Directeur de Maintien d'Actifs (PDMA) Ville de Beaconsfield. Ville de Beaconsfield, p. 17.
- Poirier, A. E. (2012). "Research proposal presented to École de technologie supérieure. A collaboration framework for virtual, parametric model-based project delivery in the architecture, engineering, construction and facilities management industry".
- Polit, D.F. & Beck, C. T. (2010). "Generalization in quantitative and qualitative research: Myths and strategies", *International journal of nursing studies*, 47(11), 1451-1458.
- Pourreaux, S. et Galipeau, R. (2016). "Addressing the Infrastructure Maintenance Deficit". *Le Québec économique 06: Le défi des infrastructures*, 303.
- Proulx, P. P. (2005). "The competitiveness of Canadian cities in North America".
- Private and public investment in Canada, intentions 1999. (1999). Statistics Canada, Ottawa.
- Qi, L. & Shaofu, L. (2001). "Research on digital city framework architecture". *IEEE International Conferences on Info-Tech and Info-Net*, vol. 1, (pp. 30-36). Proceedings ICII.
- Qi, Q., & Tao, F. (2018). "Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry", 4.0: 360 degree comparison. *Ieee Access*, 6, 3585-3593.
- Qing, Z., Mingyuan, H., Yeting, Z., & Zhiqiang, D. (2009). "Research and practice in three-dimensional city modeling". *Geo-spatial Information Science*, 12(1), 18-24.
- Raisch, S., & Krakowski, S. (2021). Artificial intelligence and management: The automation–augmentation paradox. *Academy of Management Review*, 46(1), 192-210.
- Ramboll Management Consulting (2015), IT iPraxis, 2015.
- Ramboll Management Consulting (2016), IT iPraxis, 2016.
- Ramon Gil-Garcia, J., Chengalur-Smith, I. & Duchessi, P. (2007). "Collaborative e-Government: impediments and benefits of information-sharing projects in the public sector", *Eur J Inf Syst* 16, 121-133. <https://doi.org/10.1057/palgrave.ejis.3000673>
- Razaghi, M., & Finger, M. (2018). Smart governance for smart cities. *Proceedings of the IEEE*, 106(4), 680-689.

- Reliability Engineering (2015). Institute of Asset Management (IAM).
- Rezgui, Y., Beach, T., & Rana, O. (2013). "A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains using mixed-modes of information delivery". *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(2), 239-258.
- Ringenson, T., Höjer, M., Kramers, A., & Viggedal, A. (2018). "Digitalization and environmental aims in municipalities", *Sustainability*, 10(4), 1278.
- Risk Assessment and Management (2015). Institute of Asset Management (IAM).
- Ritter, T. & Gemünden, H. G. (2004). "The impact of a company's business strategy on its technological competence, network competence and innovation success", *Journal of Business Research*, 57(5), pp. 548-556: [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(02\)00320-X](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(02)00320-X)
- Roberge, J., Jamet, R., Nantel, L., Senneville, M., & Tch  houali, D. (2019). "Smart city barometer, artificial intelligence and algorithmic culture: a comparison", Montreal, Toronto and Vancouver.
- Rogers, E.M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.), New York: Free Press.
- R  ka-Madar  sz, L., M  lyusz, L., Tuczai, P. (2016). "Benchmarking facilities operation and maintenance management". In *Journal of Building Engineering*.
- Rondeau, E. P., Brown, R. K., & Lapidis, P. D. (2012). *Facility management*, John Wiley & Sons.
- Roper, K., & Payant, R. (2014). *The facility management handbook*, Amacom.
- Ross, L., Bolling, J., D  llner, J., & Kleinschmit, B. (2009). *Enhancing 3D city models with heterogeneous spatial information: towards 3D land information systems*, pp. 113-133, Heidelberg: Springer. AGILE.
- Roy, N. et Garon, R. (2022). "A comparative study of software to assist in qualitative data analysis: from automatic to manual approaches", *Qualitative Research*, 32(1), 154-180.
- Rumble T. (2018). "Unsplash Photos for everyone" [Online image]. Rep  r      : <https://unsplash.com/photos/7lvzopTxjOU>
- Ruud, O. (2017). "Successful digital transformation projects in public sector with focus on municipalities" (research in progress), *Proceedings of the Central and Eastern European e|Dem and e|Gov Days*, 4-5.

- Scharpf, F. W. (2018). *Games real actors play: Actor-centered institutionalism in policy research*. Routledge.
- Schiewe, J., Krek, A., Peters, I., Sternberg, H., & Traub, K. P. (2008). "HCU research group 'Digital City': developing and evaluating tools for urban research". In: Ehlers et al. (Eds.) *Digital earth summit on geo-informatics*.
- Schleich, B., Anwer, N., Mathieu, L., & Wartzack, S. (2017). "Shaping the digital twin for design and production engineering", *CIRP Annals*, 66(1), 141-144.
- Scholl, H. J. (2005). "E-Government-Induced Business Process Change (BPC): An Empirical Study of Current Practices", *International Journal of Electronic Government Research*, Vol. 1, No. 2, pp. 27-49.
- Scime, R. (1994). "'Cyberville' and the Spirit of Community: Howard Rheingold meet Amitai Etzioni". Reperibile all'indirizzo Internet <http://gopher.well.com>.
- Searle J. (1972). *Language acts*, Paris, Hermann.
- Seattle Public Utilities (SPU) (2007). "Water System Plan", repéré à: <https://www.seattle.gov/documents/Departments/SPU/Documents/2007AppendicesWaterSystemPlan.pdf>
- Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (29 mars 2019). "Digital Operations Strategic Plan: 2018-2022". Gouvernement du Canada. Treasury Board of Canada Secretariat. ISBN: 978-0-660-29075-1. Récupéré le 16 mai 2019 à: <https://www.canada.ca/en/government/system/digital-government/digital-operations-strategic-plan-2018-2022.html>
- Senge, P. M., Gauthier, A., & Plagnol, H. (1991). *La cinquième discipline* (Vol. 175). Paris: First.
- SETIS: Strategic Energy Technologies Information System (2012). "European Initiative on Smart Cities". Repéré à : <https://setis.ec.europa.eu/set-plan-implementation/technology-roadmaps/european-initiative-smart-cities>
- Shahat, E., Hyun, C. T., & Yeom, C. (2021). "City digital twin potentials: A review and research agenda", *Sustainability* 13(6), 3386.
- Shearmur, R. & Poirier, V. (2016). "Conceptualizing nonmarket municipal entrepreneurship: Everyday municipal innovation and the roles of metropolitan context, internal resources, and learning", *Urban Affairs Review*, 53(4), 718-751: <https://doi.org/10.1177/1078087416636482>

- Shkabatur, J. (2010). Municipalities at crossroads: Digital technology and local democracy in America, *Brook. L. Rev.*, 76, 1413.
- Smart Market Report (2017). La valeur du BIM pour les infrastructures 2017, pp. 13-14, repéré à : www.construction.com
- Smith, D. K., & Tardif, M. (2009). *Building information modeling: a strategic implementation guide for architects, engineers, constructors, and real estate asset managers*. John Wiley & Sons.
- Söderström, O., Paasche, T., & Klauser, F. (2014). Smart cities as corporate storytelling. *City*, 18(3), 307-320.
- Sorrentino, M. & Simonetta, M. (2013). "Incentivising inter-municipal collaboration: the Lombard experience". *Journal of Management and Governance*, 17(4), 887-906.
- Soucy, A. (2016). « Le génie urbain, vers une gestion d'infrastructures durables », *Environnement et construction*. Repéré à <https://substance.etsmtl.ca/genie-urbain-infrastructures-durables>
- Soucy, A. Diab, Y. (2016). Introduction au Cours GIU801. École de Technologie Supérieure. <https://www.etsmtl.ca/>
- Statistique Canada. (2016). « Profil du recensement, Recensement de 2016 », repéré le 22 juin 2022 de <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=F&Geo1=CSD&Code1=2466107&Geo2=CD&Code2=2466&SearchText=beaconsfield&SearchType=Begins&SearchPR=01&B1=All&TABID=1&type=0>
- Statistique canada. (2021). Comptes du bilan national et des flux financiers, troisième trimestre de 2021. Repéré au : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/211210/dq211210a-fra.htm>
- Streed, D. (2020). Reconciling Air Force Real Property Records. *The Military Engineer*, 112(729), 48-50.
- Succar, B., & Poirier, E. (2020). "Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets", *Automation in Construction*, 112, 103090.
- Sun, S., Cegielski, C.G., Jia, L. & Hall, D. J. (2016). "Understanding the factors affecting the organizational adoption of big data", *Journal of Computer Information Systems*. 58(3), 193-203: <https://doi.org/10.1080/08874417.2016.1222891>

- Supply Chain News. (2017). "Supply Chain News: The Opportunities for Using Digital Twins in Manufacturing", repéré à : <http://www.scdigest.com/ontarget/17-08-30-1.php?cid=12930>.
- Surbakti, F.P. S., Wang, W., Indulska, M. & Sadiq, S. (2020). "Factors influencing effective use of big data: A research framework", *Information & Management*, 57(1), 103146.
- Surbakti, T., Pinem, S., Sembiring, T. M., Hamzah, A. & Nabeshima, K. (2019). "Calculation of control rods reactivity worth of RSG-GAS first core using deterministic and Monte Carlo methods", *Atom Indonesia*, 45(2), 69-79.
- Sweetman, R., & Conboy, K. (2018). Portfolios of agile projects: A complex adaptive systems' agent perspective. *Project Management Journal*, 49(6), 18-38.
- Tangi, L., Janssen, M., Benedetti, M. & Noci, G. (Août 2020). "Barriers and drivers of digital transformation in public organizations: results from a survey in the Netherlands," in *International Conference on Electronic Government* (pp. 42-56), Springer, Cham.
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). "Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9-12), 3563-3576.
- Taylor, John E. & Raymond Levitt (2007). "Innovation alignment and project network dynamics: An integrative model for change". *Project Management Journal*, vol. 38, no3, p. 22-35.
- Tchougourou, H & Chacon, N. (2019) Plan d'intervention Beaconsfield 2019-2023, Ville de Beaconsfield, p. 35.
- Technos et innovations (2019). L'Usine Nouvelle. Repéré à : <https://www.usinenouvelle.com/editorial/l-ile-de-france-a-son-doublenumerique.N896274>
- Teo Ai Lin, E. (2017). « Le BIM connecte les gens, le projet et les produits ». *Construction 21*, France. Repéré à : <https://www.construction21.org/france/articles /fr/evelyn-teo-ai-lin-le-bim-connecte-les-gens-le-projet-et-les-produits.html>
- Thabet, W., Lucas, J., & Johnston, S. (2016). "A case study for improving BIM-FM handover for a large educational institution". *Proc., Construction Research Congress 2016*, ASCE, Reston, VA, 2177-2186.
- Thacker, S., Adshead, D., Fay, M., Hallegatte, S., Harvey, M., Meller, H., ... & Hall, J. W. (2019). Infrastructure for sustainable development. *Nature Sustainability*, 2(4), 324-331.

- Thibault, S. (2000). « Le génie urbain. Sur La ville et l'urbain, l'état des savoirs, la découverte », repéré à : [https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00006029/PDF/Genie_Urbain .pdf](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00006029/PDF/Genie_Urbain.pdf)
- Thomas, B. (2013). "What Consumers Think about brands on social media, and what businesses need to do about it", Report, Keep Social Honest.
- Tomko, M., & Winter, S. (2019). "Beyond digital twins-A commentary", *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(2), 395-399.
- Tomko, M., & Winter, S. (2019). "Beyond digital twins–A commentary". *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(2), 395-399.
- Tuegel, E. J., Ingraffea, A. R., Eason, T. G., & Spottswood, S. M. (2011). "Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin". *International Journal of Aerospace Engineering*, 2011.
- Tuegel, E. J., Ingraffea, A. R., Eason, T. G., & Spottswood, S. M. (2011). "Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin", *International Journal of Aerospace Engineering*, 2011.
- United Nations Development Program (2016). "Financing the 2030 Agenda". Repéré à : file:///C:/Users/elsou/Downloads/Financing_the_2030_Agenda_CO_Guidebook.pdf
- Université Laval (2016). Repéré à : <https://www.scg.ulaval.ca/la-geomatique-cest-quoi>
- Vaishnavi, V., and Kuechler, B. Design research in information systems. Association for Information Systems, 2005 (available at www.isworld.org/Researchdesign/drisISworld.htm).
- Van der Maren, J-M. (1995). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Montréal : Presses de l'Université de Montréal/De Boeck Université.
- Van Veenstra, A. F., Klievink, B. & Janssen, M. (2011). "Barriers and impediments to transformational government: insights from literature and practice", *Electronic Government, an International Journal*, 8(2-3), 226-241.
- Vanier, D. D. (2001). Why industry needs asset management tools. *Journal of computing in civil engineering*, 15(1), 35-43.
- Vanier, D. J. (2000). "Whole life building management: Occupancy to dismantling." Proc., *Constr. Info. Technol. 2000*, Reykjavik, Iceland, June, 983–995.
- Vanier, D. J. (2001). "Asset management A to Z", *Innovations in Urban Infrastructure*, 1-16.

- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Qi Dong, J., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). "Digital Transformation: A Multidisciplinary Reflection and Research Agenda", *Journal of Business Research* (122: November 2019), pp. 889-901.
- Vial, G. (2019). "Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda", *Journal of Strategic Information Systems* (28:2), Elsevier, pp. 118-144.
- Ville de Beaconsfield (2007). Plan stratégique 2007-2010, p. 38.
- Ville de Montréal (2019). « Budget et PTI ». Repéré à : https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=43%2C55517618&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Vinodhini, G. & Chandrasekaran, R. (2012). "Sentiment analysis and opinion mining: a survey", *International Journal*, 2(6), 282-292.
- Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F. (2014). "Building information modeling (BIM) for existing buildings-literature review and future needs", *Autom. Constr.* 38, 109-127.
- Waddock, S. (2000). "The multiple bottom lines of corporate citizenship: Social investing, reputation, and responsibility audits", *Business and Society Review*, 105(3), 323-345.
- Walport, M. & Craig, C. (2014). "Innovation: Managing Risk, Not Avoiding It", *Evidence and Case Studies*: <https://www.gov.uk>.
- Walls, J.; Widmeyer, G.; and El Sawy, O. (1992). Building an information system design theory for vigilant EIS. *Information Systems Research*, 3, 1, 36-59.
- Wang, S. & Feeney, M. K. (2014). "Determinants of information and communication technology adoption in municipalities", *The American Review of Public Administration*, 46(3), 292-313:<https://doi.org/10.1177/0275074014553462>
- Weerakkody, V. & Dhillon, G. (2008). "Moving from e-government to t-government: a study of process reengineering challenges in a UK local authority context", *International Journal of Electronic Governance*. Res. 4(4), 1-16.
- Weerakkody, V. Janssen, M. & Dwivedi, Y. (2009). "Handbook of Research on ICT enabled Transformational Government: A Global Perspective", *Information Science Publishing*.
- Weerakkody, V., El-Haddadeh, R., Sabol, T., Ghoneim, A. & Dzapka, P. (2012). "E-government implementation strategies in developed and transition economies: a comparative study", *International Journal of Information Management*, 32(1), 66-74.

- Weerakkody, V., El-Haddadeh, R., Sivarajah, U., Omar, A., & Molnar A., (2019). "A case analysis of e-government service delivery through a service chain dimension", *International Journal of Information Management*, 47, 233-238.
- Wessel, L., Baiyere, A., Ologeanu-Taddei, R., Cha, J. & Jensen, T. B. (2021). "Unpacking the Difference between Digital Transformation and IT-Enabled Organizational Transformation", *Journal of the Association for Information Systems* (22: March), pp. 1-57.
- Wieringa, R., & Morali, A. (2012, May). Technical action research as a validation method in information systems design science. In *International Conference on Design Science Research in Information Systems* (pp. 220-238). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wikimedia commons (2017). IOTA (criptomoeda). [Online image]. Repéré en décembre 2018 à : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tangleimage.jpg>
- Wimmer, M. A. (2002). "Integrated service modeling for online one-stop government", *Electronic Markets*, special issue on e-Government, Vol. 12, No. 3, pp. 1-8.
- Wirtz, B.W. & Langer, P. F. (2017). "Public multichannel management-an integrated framework of off and online multichannel government services", *Public Organ. Rev.* 17(4), 563-580.
- Wojewnik-Filipkowska, Anna & Rymarzak, Malgorzata. (2022). *Decision-Making in Corporate and Municipal Asset Management (Literature Review)*.
- Wolstenholme, A., Austin, S. A., Bairstow, M., Blumenthal, A., Lorimer, J., McGuckin, S., Le Grand, Z. (2009). "Never waste a good crisis: a review of progress since Rethinking Construction and thoughts for our future".
- Woodall, P. (2017). "The data repurposing challenge: New pressures from data analytics". *J. Data Inf. Qual.* 8 (3-4): 1-4. <https://doi.org/10.1145/3022698>.
- Wu, Y., Zhang, W., Shen, J., Mo, Z., & Peng, Y. (2018). "Smart city with Chinese characteristics against the background of big data: Idea, action and risk". *Journal of Cleaner Production*, 173, 60-66.
- Xiao, H., & Noble, T. (2014). "BIM's impact on the project manager". *RCOM A*, 693.
- Xu, X., Ma, L., & Ding, L. (2014). "A framework for BIM-enabled life-cycle information management of construction project", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(8), 126.
- Yau, Y., & Lau, W. K. (2016). "Property management, disability awareness and inclusive built environment", *Property Management*.

- Yellow Pages (2007). Ville en 3D. Repéré à : <http://v3d.pagesjaunes.fr/>
- Yessenalina, A., Yue, Y. & Cardie, C. (2010). "Multi-level structured models for document-level sentiment classification", Proceedings of the 2010 conference on empirical methods in natural language processing, pp. 1046-1056.
- YHC Environnement. (2021). Plan de réduction des émissions GES, p. 81.
- Ylinen, M. (2021). "Digital Transformation in a Finnish Municipality: Tensions as Drivers of Continuous Change".
- Yuan, Y. M. et al. (2012). "Architecture and data vitalization of smart city". *Advanced Materials Research*, 403, 2564–2568.
- Zaman, S. (2018). "3D model to help with Abu Dhabi's urban planning". Repéré à : <https://gulfnews.com/news/uae/general/3d-model-to-help-with-abu-dhabi-s-urban-planning-1.751579>
- Zhang, & J. Jiang (Eds.). "The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences" (Vol. XL-4). The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-4-169-2014.
- Zheng, Y., Yang, S., & Cheng, H. (2019). "An application framework of digital twin and its case study", *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(3), 1141-1153.
- Zhou, H. & Song, F. (2015). "Aspect-level sentiment analysis based on a generalized probabilistic topic and syntax model", *The Twenty-Eighth I.*
- Zutshi, A., Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2012). "The business interoperability quotient measurement model". *Computers in Industry*, 63(5), 389-404.

BIBLIOGRAPHIE

- ACQ. 2016. L'élection fédérale et son impact sur la construction au Québec. 31 numéro 1. Hiver 2016, p20. Repéré à <http://www.acqconstruire.com/files/pdf/archives/2016/construirehiver2016.pdf>
- AIAC. 2017. Le secteur de l'aérospatiale est en tête du secteur manufacturier canadien dans les domaines de l'innovation et des exportations Repéré à <http://aiac.ca/fr/le-secteur-de-laerospatiale-est-en-tete-du-secteur-manufacturier-canadien-dans-les-domaines-de-linnovation-et-des-exportations/>
- Alcimed. 2016. Singapour : Un terreau fertile d'innovations dans la construction, poussées par des politiques d'Etat de gain de productivité. Communiqué de presse
- Bains, N. 2016. Le secteur de l'aérospatiale est en tête du secteur manufacturier canadien dans les domaines de l'innovation et des exportations Repéré sur AIAC à <http://aiac.ca/fr/le-secteur-de-laerospatiale-est-en-tete-du-secteur-manufacturier-canadien-dans-les-domaines-de-linnovation-et-des-exportations/>
- Bazjanac, V. 2006. Virtual building environments (VBE)-applying information modeling to buildings. August, 29, 2009.
- Benner, J., Geiger, A., & Leinemann, K. (2005). "Flexible generation of semantic 3D building models", in Proceedings of the 1st international workshop on next generation 3D city models, Bonn (pp. 17-22).
- Bew et Richards. 2008. Les niveaux de maturité du BIM. Repéré à <https://mosaicprojects.wordpress.com/2012/07/01/the-4th-dimension-of-bim/>
- Bolpagni, M., & Hooper, E. (2020). Information Management according to BS-EN-ISO-19650: Guidance Part D: Developing information requirements 1st Edition (D.
- Boutle, A., Dodd, P., Dearlove, J., Hooper, E., Ford, J., Rossiter, D., Tennyson, R., Thompson, N., Winfield, M., & Zahiroddiny, S. (2020). Information Management according to BS-EN-ISO-19650: Guidance Part 2: Parties, teams and processes for the delivery phase of the assets 5th Edition (D. Churcher, S. Davidson, & A. Kemp, Eds.). UK BIM Framework.
- Boutle, A., Davidson, S., & Jackson, R. (2020). Information Management according to BS-EN-ISO-19650: Guidance Part A: The information management function and resources 1st Edition (D. Churcher, S. Davidson, & A. Kemp, Eds.). UK BIM Framework.

- Brilakis & Soibelman, L. 2005. Identification of materials from construction site images using content based image retrieval techniques, *Computing in Civil Engineering*, ASCE.
- Brunet, É. (2016). « Écrits choisis: Tous comptes faits: questions linguistiques », *Écrits choisis*, 1-417.
- Cabinet Office. 2012. Government Construction Strategy: trial projects Repéré à <https://www.gov.uk/government/publications/government-construction-strategy-trial-projects>
- Churcher, S. Davidson, & A. Kemp, Eds.). UK BIM Framework. https://ukbimframework.org/wpcontent/uploads/2020/09/Guidance-Part-D_Developing-information-requirements_Edition1.pdf
- Crossrail Ltd. 2013. Aperçu sur le modèle 3D du projet Crossrail. Repéré à <https://www.lemoniteur.fr/article/a-londres-le-chantier-ferroviaire-crossrail-trace-sa-voie-32421236>
- Crossrail. 2017. Driving industry standards for design innovation on major infrastructure projects. Repéré à <http://www.crossrail.co.uk/construction/building-information-modelling/>
- Christensen, S., McNamara, J., & O'Shea, K. 2007. Legal and contracting issues in electronic project administration in the construction industry. *Structural Survey*, 25(3/4), 191-203
- Churcher, D., Davidson, S., & Kemp, A. (2019). Information Management according to BS-EN-ISO-19650: Guidance Part 1: Concepts 2nd Edition. UK BIM Framework.
- Comeau, M. 2017. Les contrats. Présentation d'expert aux chantiers de réflexion BIM Construire ensemble à l'ère du numérique, Montréal. Repéré à <http://kollektif.net/49247-2/>
- Dassault Systems. 2018. BIM – Building Information Modeling. Repéré à <https://www.3ds.com/industries/architecture-engineering-construction/what-is-bim/>.
- Deloitte, & CPQ. 2016. Étude sur l'écosystème d'affaires de la construction au Québec. Rapport final, 15 et 16. Repéré à <https://www.cpq.qc.ca/wp-content/uploads/2016/04/cpq-construction270516.pdf>
- Dembski, F., Wössner, U., & Yamu, C. (2019, July). Digital twin. In *Virtual Reality and Space Syntax: Civic Engagement and Decision Support for Smart, Sustainable Cities: Proceedings of the 12th International Space Syntax Conference, Beijing, China* (pp. 8-13).

- Deng, T., Zhang, K., & Shen, Z. J. M. (2021). A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. *Journal of Management Science and Engineering*, 6(2), 125-134.
- Deutsch, R. 2011. *BIM and integrated design: strategies for architectural practice*. John Wiley & Sons.
- Dickinson, J. Woodard, P. *Building SMART Canada*, & Institut pour la BIM au Canada. (2017). *Manuel de pratique canadien pour la MDB*. 1.
- Dupuy, G. 1991. *L'urbanisme des réseaux, théories et méthodes*. Armand colin. Repéré à <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00438867/>
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C. & McNiff, S. (2015). « Une enquête sur l'état actuel des changements et des changements perçus requis pour l'adoption du BIM au Royaume-Uni », *Construit Environ. Gestion des actifs du projet.*, 5(1), 4 à 21.
- Editeur officiel du Québec. (2017, 1 décembre). *Loi sur les cités et villes*, chapitre C-19, l'article 573.3.0.1. Repéré à <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/cr/C-19,%20R.%202.pdf>
- El Marai, O., Taleb, T., & Song, J. (2020). Roads infrastructure digital twin: A step toward smarter cities realization. *IEEE Network*, 35(2), 136-143.
- Erol, T., Mendi, A. F., & Doğan, D. (2020, October). Digital transformation revolution with digital twin technology. In *2020 4th international symposium on multidisciplinary studies and innovative technologies (ISMSIT)* (pp. 1-7). IEEE.
- Eonyong, k., & Soohoon, P. 2016. Three-dimensional visualized space and asset management system for large-scale airports: The case of Incheon International Airport, *International journal of architectural computing*. Vol. :14 no:3 pages:233 - 246
- Fallu, C. 2016. *Cours GIU803 : Rôle et pouvoir des élus*. École de Technologie Supérieure.
- Farsi, M., Daneshkhah, A., Hosseinian-Far, A., & Jahankhani, H. (Eds.). (2020). *Digital twin technologies and smart cities*. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer
- Fraker, H. 2013. *The hidden potential of sustainable neighborhoods: Lessons from low-carbon communities*. Island press. Repéré à <https://islandpress.org/book/the-hidden-potential-of-sustainable-neighborhoods>
- Ford, D. N., & Wolf, C. M. (2020). Smart cities with digital twin systems for disaster management. *Journal of management in engineering*, 36(4), 04020027.

- Ford, J. (2020). Information Management according to BS-EN-ISO-19650: Guidance Part C: Facilitating the common data environment (workflow and technical solutions) 1st Edition (D. Churcher, S. Davidson, & A. Kemp, Eds.). UK BIM Framework.
- Furneaux, C., & Kivvits, R. 2008. BIM–implications for government.
- Giel, B., Issa, R. R. A., & Olbina, S. 2010. Return on investment analysis of building information modeling in construction Repéré à <http://www.engineering.nottingham.ac.uk/icccbe/proceedings/pdf/pf77.pdf>
- Gridd et Pomerleau (2015). « Sondage 2015 - Adoption du BIM et des approches intégrées au Québec », repéré à : <http://gridd.etsmtl.ca/fr/archives/1356>
- Gridd et Pomerleau (2017). Daniel Forgues - GRIDD. Repéré à : <http://gridd.etsmtl.ca/fr/archives/718>
- Gridd (2016). « Manifeste vers une stratégie pour favoriser le virage numérique dans l'industrie de la construction », 3. Repéré à : <http://gridd.etsmtl.ca/publications/manifeste%20pour%20un%20virage%20num%C3%A9rique%20-%202017-02-09.pdf>
- Haag, S., & Anderl, R. (2018). Digital twin–Proof of concept. *Manufacturing letters*, 15, 64–66.
- Hardin, B., & McCool, D. 2015. BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows. John Wiley & Sons. Repéré à <http://bimforum.org/lod/>
- Heaton, J., Parlikad, A. K., & Schooling, J. (2019). A Building Information Modelling approach to the alignment of organisational objectives to Asset Information Requirements. *Automation in Construction*, 104, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.022>
- HM Government. 2011. Implementing the Climate Change Act 2008. The Government's proposal for setting the fourth carbon budget Policy Statement, 3. Repéré à https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48081/1683-4th-carbon-budget-policy-statement.pdf
- Homayouni, H., Neff, G. & Dossick, C. 2010, “Theoretical categories of successful collaboration and BIM implementation within the AEC industry”, in, Buwanpura, J., Mehamed, Y. and Lee, S. (Eds), *Proceedings of Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice*, Banff, Alberta, pp. 778-788.

- Hooper, E., & Rossiter, D. (2020). Information Management according to BS-EN-ISO-19650: Guidance Part B: Open data, buildingSMART and COBie 1st Edition (D. Churcher, S. Davidson, & A. Kemp, Eds.)
- Huberman, M., & Miles, M.B. (1991). Analyse des données qualitatives: recueil de nouvelles méthodes. Bruxelles: De Boeck Université.
- Huberman, M.A., & Miles, M.B. (1994). Data management and analysis methods. Dans N.K Denzin & Y.S Lincoln (Eds), Handbook of Qualitative Research (pp. 428-444). London/New Delhi : SAGE Publications.
- ISO 19650-2 (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of assets.
- ISO 19650-3 (2020). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 3: Operational phase of assets.
- ISO 19650-5 (2020). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 5: Security-minded approach to information management.
- ISO 55001 (2014). Asset management – Management systems – Requirements.
- ISO 55002 (2018). Asset management – Management systems – Guidelines for the application of ISO 55001
- ISO 55010 (2019). Asset management – Guidance on the alignment of financial and non-financial function in asset management
- ISO 55011 (2018). Asset management – Guidance on the development of government asset management policy
- Jenkins. 2013. Building Information Modelling (BIM) case study: Birmingham City University. Repéré à <https://www.thebim.com/video/bim-o-m-case-study-birmingham-city-university-associated-architects>
- Joao, P., Nashwan, D., Vladimir, V., & Mohamad, K. 2015. BIM for facilities management: Evaluating BIM standards in asset register creation and service life planning. Journal of information technology in construction. Vol 20, 313 -331.

- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 29, 36-52.
- Ketzler, B., Naserentin, V., Latino, F., Zangelidis, C., Thuvander, L., & Logg, A. (2020). Digital twins for cities: A state of the art review. *Built Environment*, 46(4), 547-573.
- Le, H. Q., & Hsiung, B.-C. B. 2014. A novel mobile information system for risk management of adjacent buildings in urban underground construction. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 45(3), 52-63.
- Lehner, H., & Dorffner, L. (2020). Digital geoTwin Vienna: towards a digital twin city as geodata hub.
- Mukamurera, J., Lacourse, F., & Couturier, Y. (2022). Des avancées en analyse qualitative: pour une transparence et une systématisation des pratiques. *Recherches qualitatives*, 26(1), 110-138.
- OAQ & CFDD. 2016. BIM – building information modeling Charrette d’architecture multidisciplinaire et intergénérationnelle. Repéré à <https://aapq.org/agenda/congres-annuel-des-architectes-autour-du-bim>
- Poirier, É., & Lafioune, N. (2021). *Rapports de diagnostic Niveau 01*, Secrétariat du Conseil du Trésor du Gouvernement du Québec, 2021.
- Poirier, A E., Forgues, D., & Staub-French, S. (2014). "Dimensions of interoperability in the AEC industry". Dans *Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network* (pp. 1987-1996).
- Poirier, A E., Forgues, D., & Staub-French, S. (2015). "Investigating bim-based collaboration to support its management and assessment". Board of examiners this thesis has been evaluated by the following board of examiners, 59.
- Poirier, A E., Forgues, D., & Staub-French, S. (2016). "Collaboration through innovation: implications for expertise in the AEC sector". *Construction management and economics*, 34(11), 769-789
- Rasheed, A., San, O., & Kvamsdal, T. (2020). Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective. *Ieee Access*, 8, 21980-22012.
- Ruohomäki, T., Airaksinen, E., Huuska, P., Kesäniemi, O., Martikka, M., & Suomisto, J. (2018, September). Smart city platform enabling digital twin. In *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)* (pp. 155-161). IEEE.

- Schrotter, G., & Hürzeler, C. (2020). The digital twin of the city of Zurich for urban planning. *PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 99-112.
- Sanchez, A. X., Hampson, K., & London, G. (2017). *Integrating Information in Built Environments*. CRC Press.
- Savoie-Zajc, L. (2000). La recherche qualitative/interprétative en éducation. Dans Th. Karsenti & L. Savoie-Zajc (2000). *Introduction à la recherche en éducation* (pp.171-198). Sherbrooke : Éditions du CRP.
- Savoie-Zajc, L. (2004). La recherche qualitative/interprétative en éducation. Dans Th. Karsenti & L. Savoie-Zajc, *La recherche en éducation : étapes et approches* (pp. 123-150). Sherbrooke : Éditions du CRP.
- SmartMarket Report. 2017. La valeur du BIM pour les infrastructures 2017, P 13 et 14. Repéré à www.construction.com
- Sousa, H., Méda, P., & HJELSETH, E. (2020). Data Templates-Traceability and Digital Record Through Project Life-Cycle.
- Tao, F., Xiao, B., Qi, Q., Cheng, J., & Ji, P. (2022). Digital twin modeling. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 372-389.
- Tzachor, A., Sabri, S., Richards, C. E., Rajabifard, A., & Acuto, M. (2022). Potential and limitations of digital twins to achieve the Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, 5(10), 822-829.
- White, G., Zink, A., Codecá, L., & Clarke, S. (2021). A digital twin smart city for citizen feedback. *Cities*, 110, 103064.
- Wikipedia (2018). Repéré à : <https://en.wikipedia.org/wiki/Blockchain>
- Wikipédia-a. (2020). Système d'information géographique - Geographic information system. Repéré à : https://fr.qwe.wiki/wiki/Geographic_information_system
- Wikipédia-b. (2020). Design science (methodology). Repéré à : [https://en.wikipedia.org/wiki/Design_science_\(methodology\)#cite_note-vaishnavi2004-1](https://en.wikipedia.org/wiki/Design_science_(methodology)#cite_note-vaishnavi2004-1)

