

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
M. Ing.

PAR
ÉRIC LALONDE

APPROCHE INFORMATISÉE DE L'AIDE À LA DÉCISION POUR LA GESTION
INTÉGRÉE DES INFRASTRUCTURES URBAINES

MONTRÉAL, LE 10 MARS 2005

© droits réservés de Éric Lalonde

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Saad Bennis, directeur de mémoire

Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Edmond Miresco, président du jury

Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Gabriel Assaf, membre du jury

Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Léo Gohier, P. Eng., membre du jury

Infrastructure Dynamix Inc. (IDX)

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

LE 13 DÉCEMBRE 2004

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

APPROCHE INFORMATISÉE DE L'AIDE À LA DÉCISION POUR LA GESTION INTÉGRÉE DES INFRASTRUCTURES URBAINES

Éric Lalonde

SOMMAIRE

Le vieillissement des infrastructures municipales constitue une problématique majeure en Amérique du Nord. La méconnaissance de l'état des réseaux, combinée aux ressources financières limitées, rendent très difficile, voire humainement impossible, la détermination de l'intervention optimale au moment opportun.

Le présent mémoire a permis le développement d'une démarche de gestion des réseaux urbains depuis l'évaluation des données d'infrastructures jusqu'à la production de plans directeurs intégrés de réfection. Le mémoire est composé de cinq (5) chapitres. Le premier chapitre énonce le contexte de la recherche et énonce la problématique. On retrouve à l'intérieur du second chapitre la revue de la littérature. Celle-ci expose les concepts avancés dans le domaine de la gestion des infrastructures. Le troisième chapitre renferme une explication de l'approche suggérée ainsi qu'une démonstration du système ayant servi à l'expérimentation. À l'intérieur du quatrième chapitre, une analyse des résultats obtenus lors de l'expérimentation à la Ville de Sainte-Foy, au Québec, confirme l'adéquation du système à la problématique. Enfin, une expression des conclusions et recommandations est faites sous le dernier chapitre.

Les fondations d'une démarche saine de gestion résident dans l'identification de l'information pertinente, la cueillette optimale de l'information requise pour minimiser les coûts de démarrage et de maintien des données, et la structuration de l'information dans un entrepôt de données pour faciliter l'interrogation et la production de rapports. Les logiciels, développés pour supporter la démarche et favoriser l'utilisation des données existantes, permettent aux gestionnaires d'augmenter leurs connaissances de l'état des réseaux selon des critères reconnus. Les algorithmes de calculs utilisés pour déterminer l'état et le type d'intervention, sont paramétrables. L'harmonisation de la planification est optimisée par une analyse des contraintes spatiales. Une intégration harmonieuse est possible avec les bases de données, les systèmes d'information géographique (SIG) et avec les systèmes experts.

Cette approche permet aujourd'hui de répondre de façon précise aux questions suivantes : Où et quand devons-nous intervenir? Quelle est l'intervention optimale à retenir et quels en sont les coûts? Combien devons-nous investir annuellement pour assurer la pérennité de nos infrastructures?

COMPUTERIZED APPROACH FOR INTEGRATED DECISION SUPPORT OF URBAN INFRASTRUCTURES

Éric Lalonde

ABSTRACT

The aging of water, sewer and road networks, the lack of knowledge of their condition, and the reduction of financial resources have made it increasingly difficult to prioritize needs and assess optimal maintenance and rehabilitation (M&R), what type of repairs to perform and the best time to perform them in order to ensure the renewal of these networks. As a result, when a street is repaired, cities often replace all the existing infrastructures without previous evaluation of their condition. This type of wholesale replacement directly increases the costs of infrastructure renewal.

This study was performed to develop a complete new approach to the management of water, sewer and road networks. This approach begins with basic infrastructure data and goes all the way to the production of integrated capital improvement plans. The study is divided in three (3) parts. First, a review of literature exposes available concepts and advances in the field. Second, the experimental system and approach used is described. Finally, results calculated for the City of Sainte-Foy (now amalgamated into Québec City) and an analysis, proving the adequateness of the system, are presented.

The approach begins with finding the right information in order to perform the best decision-making process, collecting the minimum required data to minimize cost of implementation and further maintenance of data and structuring the information into an optimized database to facilitate querying and reporting.

Then, the optimal repairs to perform are determined first by considering each network's individual condition, then by considering spatial interactions of all infrastructures for excavation purposes. The decision tree is calibrated to promote the use of trenchless technologies when required conditions are met and the overlying pavement is in good condition. If a case arises where several underlying conduits in a particular segment require repair but the overlying pavement does not, the system can still propose replacement of the entire segment if this optimizes the use of financial resources over time.

Cutting-edge software to support this approach considerably increases asset managers' knowledge of the physical integrity, functional integrity and related assets of their water, sewer and roads networks. The flexibility of the software also allows harmonious integration of existing database, geographic information systems (GIS) as well as expert road management systems already in operation.

Asset managers are now able to provide precise answers to the following questions: When and where should we make repairs? What are the optimal repairs to perform? What are the costs associated with each repair? How much should we invest annually to ensure the renewal of our infrastructures?

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont particulièrement à ma femme, Katia, qui m'a supporté tout au long de cette belle aventure. Aussi, à mes parents de qui je tiens ma détermination et qui m'ont encouragé à dépasser mes limites. Et un merci tout spécial à mes enfants, Christopher et Alyson : vous éclairez ma vie.

Je remercie la direction de Harfan Technologies (anciennement Consultik ltée) avec à sa tête monsieur Guy Doucet pour avoir cru en moi et m'avoir permis de poursuivre ce rêve. De cette équipe, mes remerciements vont à messieurs Donald Olivier, Jérôme Marcoux, Carl Pelletier et Benoît Prince pour leur expertise.

Pour sa contribution et son savoir, je remercie mon mentor, monsieur Denis Curodeau. Merci de m'avoir enseigné les principes de la gestion des infrastructures et de m'avoir fait découvrir ce fascinant monde.

Je tiens à remercier sincèrement toute l'équipe de la Ville de Sainte-Foy qui m'a offert une plate-forme merveilleuse pour expérimenter les concepts de cette étude et qui m'a enseigné certains principes du monde municipal.

J'adresse ma reconnaissance aussi à monsieur Saad Bennis, pour avoir accepté de rapporter ce travail tout autant pour les commentaires et les encouragements.

Je remercie monsieur Joël Bergeron, un collègue et ami, qui m'a vulgarisé le monde de l'informatique et de la géomatique.

Enfin, un grand merci à monsieur Jacques Marcotte et madame Louise Brochu pour m'avoir accompagné dans la rédaction avec leur créativité et leur finesse dans la mise en forme.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
SOMMAIRE	i
ABSTRACT	ii
REMERCIEMENTS	iv
TABLE DES MATIÈRES	vii
LISTE DES TABLEAUX	xii
LISTE DES FIGURES	xii
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES	xiv
GLOSSAIRE	xvii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE	7
1.1 Sélection de l'information pertinente	9
1.2 Évaluation de l'état des actifs	12
1.2.1 Réseau de distribution de l'eau potable (aqueduc)	13
1.2.2 Réseau de collecte et d'évacuation d'eaux usées (égouts)	17
1.2.3 Réseau routier	21
1.3 Calcul d'un indice global	28
1.4 Identification du type d'intervention	29
1.5 Intégration de la planification des actifs	30
CHAPITRE 2 DÉFINITION DES PROCESSUS D'AFFAIRES DU SYSTÈME INTÉGRÉ DE GESTION DES INFRASTRUCTURES ET DE LA MÉTHODOLOGIE D'EXPÉRIMENTATION	34
2.1 Processus d'affaires	34
2.1.1 Principes de gestion	34
2.1.2 Processus d'affaires du système	36
2.1.2.1 Mise à jour les données SIAD de la ville	37
2.1.2.2 Analyse d'un réseau et détermination des classes d'intervention envisageables	37
2.1.2.3 Déterminer les travaux majeurs	39
2.1.2.4 Choix des travaux majeurs et suivi du plan directeur intégré	40

2.1.3	Environnement type	41
2.1.4	Critères de conception	42
2.1.4.1	Segment intégré	43
2.1.4.2	Contraintes spatiales	45
2.2	Méthodologie d'expérimentation	51
2.2.1	Hypothèse de départ	53
2.2.2	Construction du cadre opératoire	53
2.2.2.1	Détermination des données nécessaires	54
2.2.2.2	Analyse des données	56
2.2.2.3	Planification du chargement des données	58
2.2.2.4	Relevé des données	59
2.2.3	Choix de la stratégie de vérification	60
2.2.4	Choix des techniques de collecte de l'information	61
2.2.5	Choix des techniques d'analyse des données	61
2.2.6	Démarche de validation de l'hypothèse	62
CHAPITRE 3	PRÉSENTATION DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET OBSERVATIONS	63
3.1	Présentation du jeu de données	63
3.1.1	Recherche de l'information disponible	64
3.1.2	Collecte des données	64
3.2	Résultats pour chacune des cotes	67
3.2.1	Aqueduc	70
3.2.2	Égouts	74
3.2.3	Voirie	79
3.2.4	Résultats obtenus	83
3.3	Durée de vie utile	85
3.4	Résultats du module intégrateur	88
3.4.1	Résultats obtenus	91
3.4.1.1	Sommaire des itérations	92
CHAPITRE 4	ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX	96
4.1	Aqueduc	96
4.1.1	Analyse des résultats – intégrité physique	96
4.1.1.1	CIP bris	96
4.1.1.2	CIP matériau	97
4.1.1.3	CIP environnement	97
4.1.1.4	CIP globale	97
4.1.2	Analyse de sensibilité – intégrité physique	98
4.1.3	Analyse des résultats – intégrité fonctionnelle	98
4.1.3.1	CIF capacité hydraulique	98
4.1.3.2	CIF qualité de l'eau	99
4.1.3.3	CIF globale	99
4.1.4	Analyse de sensibilité – intégrité fonctionnelle	99
4.1.5	Analyse des résultats - intégrité des infrastructures liées	100

4.1.5.1	CIL borne d'incendie.....	100
4.1.6	Analyse de résultats – impact socio-économique	100
4.1.6.1	CI nombre d'utilisateurs	100
4.1.6.2	CI trafic.....	100
4.1.6.3	CI globale	100
4.1.7	Analyse des résultats - cotes globales et arbre de décision	101
4.1.7.1	CGE, cote globale d'état.....	101
4.1.7.2	CGEA, cote globale d'état ajustée	101
4.1.7.3	Arbre de décision, intervention d'aqueduc	101
4.1.8	Analyse de sensibilité – cotes globales.....	102
4.1.9	Commentaires sur les données utilisées.....	102
4.1.9.1	Historique des bris d'aqueduc.....	102
4.1.9.2	Matériau, année, corrosivité du sol	102
4.1.9.3	Modèle hydraulique	102
4.1.9.4	Données de configuration géométrique	103
4.1.9.5	Données du réseau routier	103
4.2	Égouts	103
4.2.1	Analyse des résultats – intégrité physique.....	103
4.2.1.1	CIP structure	103
4.2.1.2	CIP matériau	105
4.2.1.3	CIP environnement.....	105
4.2.1.4	CIP globale.....	105
4.2.2	Analyse de sensibilité – intégrité physique.....	106
4.2.3	Analyse des résultats – intégrité fonctionnelle	106
4.2.3.1	CIF capacité hydraulique	106
4.2.3.2	CIF contamination	107
4.2.4	Analyse de sensibilité – intégrité fonctionnelle	108
4.2.5	Analyse des résultats – intégrité des infrastructures liées	109
4.2.5.1	CIL regards.....	109
4.2.5.2	CIL globale	109
4.2.6	Analyse des résultats, impact socio-économique.....	109
4.2.6.1	CI trafic.....	109
4.2.6.2	CI environnement	110
4.2.6.3	CI globale	110
4.2.7	Analyse des résultats – cotes globales et arbre de décision	110
4.2.7.1	CGE, cote globale d'état.....	110
4.2.7.2	CGEA, cote globale d'état ajusté	110
4.2.7.3	Arbre de décision, intervention d'égouts	111
4.2.8	Analyse de sensibilité – cotes globales.....	111
4.2.9	Commentaires sur les données utilisées.....	112
4.2.9.1	Inspection télévisée	112
4.2.9.2	Matériau, année, corrosivité du sol	112
4.2.9.3	Modèle hydraulique	112
4.2.9.4	Données de configuration géométrique	113
4.2.9.5	Données appartenant au réseau de voirie.	113
4.3	Voirie	113
4.3.1	Analyse des résultats – intégrité physique	113
4.3.1.1	CIP surface.....	113

4.3.1.2	CIP bris	114
4.3.1.3	CIP gel	115
4.3.1.4	CIP capacité portante	115
4.3.1.5	CIP globale	115
4.3.2	Analyse de sensibilité – intégrité physique.....	116
4.3.3	Analyse des résultats – intégrité fonctionnelle	116
4.3.3.1	CIF uni.....	116
4.3.3.2	CIF sécurité	117
4.3.3.3	CIF globale	117
4.3.4	Analyse de sensibilité – intégrité fonctionnelle.....	117
4.3.5	Analyse des résultats – intégrité des infrastructures liées	118
4.3.5.1	CIL trottoir.....	118
4.3.5.2	CIL bordure	118
4.3.6	Analyse des résultats – cotes globales et arbre de décision	119
4.3.6.1	CGE, cote globale d'état	119
4.3.6.2	CGEA, cote globale d'état ajustée	119
4.3.6.3	Arbre de décision, intervention de voirie	119
4.3.7	Analyse de sensibilité – cotes globales.....	120
4.3.8	Commentaires sur les données utilisées.....	120
4.3.8.1	Relevé visuel de chaussées	120
4.3.8.2	Relevé visuel des bordures et trottoirs.....	120
4.3.8.3	Évaluation de la capacité portante	121
4.3.8.4	Relevé de l'IRI d'été	121
4.3.8.5	Susceptibilité au gel.....	121
4.4	Intégrateur	121
4.4.1	Analyse des résultats – bilan intégré	121
4.4.2	Analyse de sensibilité – bilan intégré	122
4.4.3	Analyse des résultats – scénario d'intervention réseau	122
4.4.3.1	Aqueduc – CIF (cote d'intégrité fonctionnelle)	122
4.4.3.2	Aqueduc, égouts – classe d'intervention finale, réseau.....	123
4.4.4	Analyse des résultats – scénario d'intervention global	123
4.4.4.1	Contraintes spatiales	123
4.4.4.2	Arbre de décision intégré	124
4.4.4.3	Coûts	124
4.4.4.4	Bénéfices	125
4.4.4.5	Mise en priorité des segments intégrés	126
4.4.4.6	Cadre budgétaire	127
4.4.5	Analyse des résultats – plan directeur intégré.....	128
4.4.5.1	Regroupement des segments intégrés	128
4.5	Observations générales	128
	CONCLUSION	130
	RECOMMANDATIONS	133

ANNEXES

1 : Liste des propriétés analysées pour chacun des réseaux.....	136
2 : Structure de cotes pour chacun des réseaux.....	141
3 : Statistiques du jeu de données utilisé pour l'expérimentation	145
4 : Extrait de l'expérimentation – Aqueduc.....	155
5 : Extrait de l'expérimentation – Égouts.....	161
6 : Extrait de l'expérimentation – Voirie	168
7 : Extrait de l'expérimentation – Intégrateur	174
8 : Analyse de sensibilité	177
9 : Liste des sources d'information	214
BIBLIOGRAPHIE.....	234

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau I Critères d'évaluation de la capacité hydraulique	15
Tableau II Critères d'évaluation de la qualité de l'eau.....	16
Tableau III Liste des cinq états possibles présentés par le WRc	17
Tableau IV Critères d'évaluation de conduites d'égouts.....	20
Tableau V Systèmes complémentaires mis à contribution.	48
Tableau VI Exemple non exhaustif de l'élément « conduite d'égouts »	56
Tableau VII Exemple d'analyse portant sur les conduites d'égouts	57
Tableau VIII Exemple des relevés et activités complémentaires portant sur les réseaux d'égouts.	59
Tableau IX Résumé des relevés et activités complémentaires effectués à la Ville de Sainte-Foy à propos du réseau d'aqueduc	65
Tableau X Statistiques des réseaux faisant partie du jeu de données.....	66
Tableau XI Sommaire des itérations – intégrité physique.....	70
Tableau XII Sommaire des itérations – intégrité fonctionnelle	71
Tableau XIII Sommaire des itérations – cotes globales et arbre de décision.....	73
Tableau XIV Sommaire des itérations – intégrité physique.....	75
Tableau XV Sommaire des itérations – intégrité fonctionnelle	76
Tableau XVI Sommaire des itérations – cotes globales et arbre de décision.....	77
Tableau XVII Sommaire des itérations – intégrité physique.....	79
Tableau XVIII Sommaire des itérations – intégrité fonctionnelle	80
Tableau XIX Sommaire des itérations – cotes globales et arbres de décision	82
Tableau XX Extrait des résultats obtenus pour le SGI voirie	84
Tableau XXI Exemple de durée de vie des conduites d'aqueduc	86
Tableau XXII Exemple de durée de vie des chaussées.....	86
Tableau XXIII Exemple de durée de vie des chaussées.....	87
Tableau XXIV Sommaire des itérations – bilan intégré	90
Tableau XXV Extrait des résultats obtenus pour le scénario d'intervention global	94

LISTE DES FIGURES

	Page	
Figure 1	Processus actuel d'élaboration de plans d'intervention dans les villes.....	4
Figure 2	Retour du renouvellement des infrastructures d'après-guerre.....	5
Figure 3	Schématisation du modèle mathématique de l'indice IRI.....	22
Figure 4	L'échelle de l'indice de rugosité international IRI.....	23
Figure 5	Correspondance qualitative du PCI.....	24
Figure 6	Indice de performance globale.....	29
Figure 7	Coupe type représentant les interactions entre les infrastructures.....	32
Figure 8	Processus d'élaboration de plan d'intervention	36
Figure 9	Architecture globale	41
Figure 10	Architecture technologique	42
Figure 11	Représentation d'un segment intégré	44
Figure 12	Regroupement des segments en segment intégré	44
Figure 13	Règles d'intégration, contraintes spatiales	46
Figure 14	Système global de gestion des infrastructures.....	46
Figure 15	Hiérarchie de la structure de cotes.....	47
Figure 16	Processus d'évaluation de l'état intégré.....	49
Figure 17	Niveaux de forage de données disponibles pour justifier l'intervention	51
Figure 18	Secteur problématique d'égouts de la Ville de Sainte-Foy	58
Figure 19	Prototype Excel des algorithmes.....	60
Figure 20	Valeur de remplacement des réseaux.....	63
Figure 21	Distribution des bris selon l'année et la saison.....	66
Figure 22	Présentation des caractéristiques du réseau d'aqueduc	67
Figure 23	Bilan de l'intégrité physique des réseaux	69
Figure 24	Analyse des écarts portant sur la CIP	71
Figure 25	Analyse des écarts portant sur la CIF	72
Figure 26	Répartition des interventions calculées selon la longueur	73
Figure 27	Analyse des écarts portant sur les cotes globales.....	74

Figure 28	Analyse des écarts portant sur la CIP	76
Figure 29	Répartition des interventions calculées selon la longueur.....	78
Figure 30	Analyse des écarts portant sur les cotes globales.....	78
Figure 31	Analyse des écarts portant sur la CIP	80
Figure 32	Analyse des écarts portant sur la CIF	81
Figure 33	Répartition des interventions calculées selon la longueur.....	82
Figure 34	Analyse des écarts portant sur les cotes globales.....	83
Figure 35	Représentation graphique des résultats obtenus pour le SGI voirie	85
Figure 36	Simulation des besoins en investissements sur un horizon de 15 ans.....	88
Figure 37	Analyse des écarts portant sur les cotes globales.....	90
Figure 38	Présentation des résultats intégrés	91
Figure 39	Plan directeur intégré par année, selon les montants par réseau.....	92
Figure 40	Intervention aqueduc intégrée et calculée selon les longueurs	92
Figure 41	Intervention égouts intégrée et calculée selon les longueurs	93
Figure 42	Intervention voirie intégrée et calculée selon les longueurs	93
Figure 43	Représentation graphique des résultats obtenus	95

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES

ASCE	American Society of Civil Engineers
AWWA	American Water Works Association
CERIU	Centre de recherche et d'expertise en infrastructures urbaines
CGE	Cote globale d'état
CGEA	Cote globale d'état ajustée
CI	Cote d'impact socio-économique
CIF	Cote d'intégrité fonctionnelle
CIL	Cote d'intégrité des infrastructures liées
CIP	Cote d'intégrité physique
CNRC	Conseil national de recherches Canada
DAO	Dessin assisté par ordinateur
DJMA	Débit journalier moyen annuel
EBMUD	East Bay Municipal Utility District (Compagnie d'utilité publique en charge de la gestion de l'eau dans la baie de San Francisco, É.-U.)
IP	Indice physique
IPA	Indice physique ajusté
IRC	Institut de recherche en construction
IRI	Indice de rugosité international
MIDS	Municipal Infrastructure Data Standard (Modèle de données d'infrastructures municipales élaboré par le groupe Tri-Committee en Ontario)
NRC	National Research Council
SGI	Système de gestion des infrastructures
SIAD	Système intégré d'aide à la décision

SIG	Système d'information géographique
WRc	Water Research Council

GLOSSAIRE

Algorithme	Équation et séquence de traitement permettant de traiter l'information
Analyse de sensibilité	L'analyse de sensibilité consiste à prendre différents scénarios de paramètres et à analyser les différences dans les résultats de chacun de ceux-ci afin de définir l'importance de chacun des paramètres.
Arbre de décision Intervention	Arbre de décision déterminant les classes d'intervention en considérant seulement les données physiques, les différentes cotes d'état fonctionnelles et les obstacles pouvant empêcher la réalisation de certaines classes d'intervention.
Bilan d'état des segments du réseau	Le bilan d'état des segments du réseau correspond aux cotes d'état globales de chacun des segments du réseau couplées aux statuts d'intervention
Classe d'intervention	C'est la description du type d'intervention générique applicable à un segment selon le statut d'intervention de ce dernier. Les classes d'intervention envisageables dépendent principalement de l'état du segment du réseau concerné. Il est essentiel d'utiliser la classe d'intervention au niveau réseau car il est impossible de faire des prédictions plus précises (données insuffisantes pour faire des prédictions projet). Les classes d'intervention sont par exemple : remplacement/reconstruction, réhabilitation structurale/en profondeur, réhabilitation non structurale/en surface, etc.
Contraintes spatiales	Interactions spatiales qui créent des contraintes quand on analyse les réseaux de façon intégrée. Les contraintes spatiales précisent les classes d'intervention des réseaux quand il y a plusieurs choix possibles.
Cote	Résultat d'un calcul permettant de rassembler toutes les sous-cotes d'un aspect général d'un actif (physique, fonctionnel, etc.) – Exemple: Cote d'intégrité physique (CIP)
Cote d'impact socio-économique	Mesure de l'étendue des conséquences qu'une négligence d'assurer l'intégrité physique ou la capacité hydraulique pourrait avoir sur les citoyens à l'occasion de travaux d'urgence. Elle mesure également l'étendue des conséquences que peut avoir une négligence d'intervenir sur la conduite, pour les autres sections du réseau. Cote qui tient compte de nombreux paramètres autres que les données d'état ou physiques principales tel que le quartier, la

	classification fonctionnelle, le diamètre relatif d'une conduite par rapport à une autre, des édifices desservis (ex: hôpital). Cette cote permet de classer (prioriser) les segments compris dans un même statut d'intervention et de départager 2 segments ayant un état identique mais n'ayant pas la même importance pour le fonctionnement global du réseau.
Cote d'infrastructures liées	Mesure utilisée par le système permettant de considérer l'état des infrastructures liées (exemple pour l'aqueduc : borne d'incendie, branchements de service, vannes, etc.) afin de prioriser, dans le cas où deux segments de conduites sont dans un état similaire, celui auquel sont liées les entités les plus dégradées.
Cote d'intégrité fonctionnelle	Mesure utilisée par le système définissant la capacité fonctionnelle de l'infrastructure à répondre aux demandes des utilisateurs selon le niveau de service minimum désiré par l'organisme. On parle ici de capacité hydraulique pour les réseaux d'aqueduc et d'égouts et d'état de la surface pour la chaussée. Valeur comprise entre 0 et 1.
Cote d'intégrité physique	Mesure utilisée par le système permettant d'évaluer, selon une ou plusieurs sous-cotes, l'état physique de l'entité principale. On parle principalement des bris pour le réseau d'aqueduc, des déficiences pour les réseaux d'égouts et des défauts de surface pour la chaussée.
Cote globale d'état	Mesure utilisée par le système pour représenter l'état global d'un segment d'une infrastructure en considérant l'effet combiné des cotes d'intégrité physique, d'intégrité fonctionnelle et des infrastructures liées.
Cote globale d'état ajustée	Mesure utilisée par le système pour représenter l'état général d'un segment d'une infrastructure selon la cote globale d'état, mais bonifiée avec la cote d'impact socio-économique.
Courbe de dégradation	Rythme (taux) de dégradation d'un réseau donné calculée en faisant une régression statistique des historiques d'état ou bâtie selon des durées de vie estimées par l'industrie en fonction du temps selon des regroupements de segments basés sur des caractéristiques physiques des réseaux. Courbe qui prédit l'état d'une infrastructure dans le temps. Elle est représentée par une équation.

Critères limites des cotes	Ce sont des critères ou normes de qualité qui traduisent des normes d'ingénierie acceptées ou bien les exigences et objectifs de l'administration qui possède les réseaux. Ces critères établissent les seuils d'intervention relatifs à chacune des cotes (impératif, souhaitable, à surveiller et aucune intervention). Les critères limites des cotes dépendent des critères limites des sous-cotes.
Facteur d'ajustement	Élément secondaire dans le modèle de priorité venant pondérer un indice – Exemple: Facteur d'ajustement de débit incendie selon l'importance du débit requis
Heuristique (arbre de décision)	Méthode d'exploration caractérisée par une approche par évaluation successives et hypothèses provisoires. Dans le SIAD, il s'agit de modèles de résolution de problèmes en ayant comme intrants divers paramètres qui influencent la décision. Celle-ci est caractérisée par une série de noeuds décisionnels qui mènent en bout de ligne à un noeud résultat.
Indice	Élément définissant une sous-cote dans un détail plus fin – Exemple: Indice Débit incendie à l'intérieur de la sous-cote CIF capacité
Intégrité fonctionnelle	Propriété représentant la capacité de l'entité à répondre à la demande en terme de niveau de service. En aqueduc et en égout, on parle de capacité hydraulique ou de qualité de l'eau tandis qu'en chaussée, on parle de confort au roulement et de fluidité de la circulation. Une cote (CIF) peut être calculée à partir de plusieurs sous-cotes (CIFcapacité hydraulique, CIFqualité de l'eau, CIFfluidité de la circulation, CIFuni).
Intégrité physique	Propriété représentant l'état physique de l'entité principale. Représente également sa capacité de résister aux différentes conditions extérieures. Une cote (CIP) peut être calculée à partir de plusieurs sous-cotes (CIP bris, CIPépaisseur, CIPmatériau, CIPenvironnement, CIPstructure, CIPsurface, CIPcapacité, CIPgel)
Niveau de service	«Mesure qualitative du service rendu à l'usager de la route en relation avec ses éléments géométriques, conditionnée par les facteurs de trafic, de climat, de sécurité, de confort et de commodité de conduite et des coûts d'entretien.» - MTQ. Dans le cas de l'aqueduc, le niveau de service se mesure par le nombre d'interruption et leur durée. Pour l'égout, on peut qualifier le niveau de service par la fréquence des refoulements.

Paramètres des équations	Les paramètres correspondent aux constantes de toutes les équations visant à déterminer les sous-cotes et les critères limites des sous-cotes, cotes et cotes globales. Valeurs limites ou pondération utilisées par les algorithmes pour déterminer le résultat
Plan directeur intégré	Extrait ultime du SIAD qui donne une liste priorisée des segments intégrés choisie par les élus sur une période déterminée (généralement de 1 à 5 ans). Pour chacune des sections, le type d'intervention est identifié (réfection ou réhabilitation et un ordre de grandeur du coût de l'intervention est estimé). Synonymes: plan d'intervention intégré, plan de réfection intégré.
Plan triennal d'immobilisations	Document présentant tous les travaux d'immobilisations prévues d'une municipalité dans les 3 prochaines années.
Sous-cote	Élément traitant de la condition d'un aspect spécifique d'un actif – Exemple: CIP bris traitant de la fréquence des bris
Statut d'intervention	Définit l'urgence ou non d'intervenir sur le segment (SGI). Il est déterminé à partir des critères limites de tolérance et des cotes d'état (incluant sous-cotes, cotes et cotes globales) C'est un qualificatif qui traduit la valeur décimale en un code de couleurs, définit le niveau de sévérité. Les termes proposés sont : impératif, souhaitable, à surveiller et aucune intervention requise
Système de modélisation	Logiciel permettant de représenter la configuration d'un réseau et de simuler les conditions réelles et anticipées d'utilisation du réseau.
Système expert	Ensemble de logiciels exploitant dans un domaine particulier des connaissances explicites et organisées, pouvant se substituer à un expert humain.

INTRODUCTION

Dans le cadre de sa mission corporative, une ville doit assurer la protection et le bien-être de sa population. Ainsi, une ville doit maintenir dans un bon état d'opération l'ensemble de ses immobilisations (infrastructures, équipements) (Curodeau, 1998).

Pour ce faire, l'administration d'une ville réalise annuellement des programmes d'entretien et de réfection de ses infrastructures. Ces différents programmes sont financés au budget annuel ou par règlement d'emprunt. Le coût de remplacement de l'ensemble des immobilisations d'une ville peut ressembler à plusieurs millions de dollars. Cette valeur couvre le coût de remplacement des réseaux d'égouts, d'aqueduc, de voirie et d'éclairage, des feux de circulation, des bâtiments et des aménagements de parcs. Pour elles seules, les infrastructures d'aqueduc, d'égouts et de voirie représentent souvent 60 % du coût total de ces immobilisations.

De plus, en tenant compte du vieillissement de ces infrastructures, puisque 90 % du développement des villes québécoises et nord-américaines s'est réalisé de 1955 à 1974, la problématique qui se dessine peut se résumer de la façon suivante :

- ❖ On remarque l'absence de plans de réfection qui considèrent, au niveau réseau, l'état actuel de dégradation des éléments de chacun des champs d'activité en intégrant la gestion des différentes interventions à réaliser entre eux. L'absence de tels plans risque, à moyen ou à long terme, d'entraîner la vétusté de certaines parties de ces immobilisations et d'engendrer une situation critique en ce qui concerne l'augmentation du coût de réfection des infrastructures d'aqueduc, d'égouts et de voirie. De plus, un manque de coordination des interventions entre les différents champs d'activité peut amener des dédoublements de travaux et des frais de réfection inutiles.
- ❖ Une carence informationnelle contraint les autorités d'une ville à une gestion plus réactive que proactive et ne lui permet pas d'identifier :
 - les niveaux d'efficacité de ses différents programmes d'entretien;

- les correctifs qu'il lui faut apporter à ses différents programmes d'entretien afin d'assurer la fonctionnalité de ses infrastructures, et ce, pour la plus longue période possible;
- les réfections qu'elle doit réaliser en priorité à chaque année afin d'assurer une continuité par rapport au service et éviter une situation critique de l'augmentation du coût de réfection des infrastructures;
- le niveau optimal d'intégration des différentes interventions à réaliser pour les réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie;
- les sommes monétaires qu'il faut prévoir annuellement au budget pour l'entretien et la réfection afin d'assurer la fonctionnalité de ses infrastructures, et ce, pour la plus longue période possible.

Les villes, aux prises avec le vieillissement de leur patrimoine et ayant le désir d'appliquer les principes d'une saine gestion, veulent se doter d'un outil performant leur permettant d'élaborer des plans de réfection des infrastructures d'aqueduc, d'égouts et de voirie, pour s'assurer de leur conservation. Ces plans de réfection tiendront compte des inter-relations entre les différents champs d'activités. Ainsi, le système à développer permettrait à une ville de traiter de façon intégrée toute l'information nécessaire au montage du plan directeur, chose qu'elle est incapable de réaliser actuellement en raison de la quantité trop importante de données, de leur accès très difficile et de leur fiabilité douteuse due à l'absence de processus de leur mise à jour.

Les bénéfices escomptés par les villes sont les suivants (Curodeau, 1998) :

- ❖ permettre aux gestionnaires municipaux de prendre de meilleures décisions sur la réfection des infrastructures d'aqueduc, d'égouts et de voirie;
- ❖ raffiner la mise en priorité des travaux de réfection par l'utilisation des systèmes experts et des heuristiques appropriées (importance d'effectuer les travaux en temps opportun afin d'éviter un accroissement exponentiel du coût de réfection des infrastructures);
- ❖ permettre aux gestionnaires de faire des prévisions éclairées sur les dépenses futures en immobilisations (aqueduc, égouts et voirie).

Un système de gestion intégrée des infrastructures urbaines doit absolument répondre aux exigences suivantes :

- ❖ le système devra prioriser de façon intégrée les tronçons problématiques des réseaux où des interventions sont requises (réfections, réhabilitations);
- ❖ le système devra évaluer, pour chacun des tronçons, le type d'intervention appropriée;
- ❖ le système devra permettre le traitement optimal de contraintes spatiales, temporelles, budgétaires, logistiques selon l'état des infrastructures; il devra également considérer les contraintes politiques et celles reliées aux nouveaux développements;
- ❖ le système devra évaluer le coût correspondant aux types d'intervention;
- ❖ le système devra informer l'usager sur le pourquoi des interventions;
- ❖ le système devra permettre la représentation graphique des tronçons problématiques où des interventions sont requises;
- ❖ le système devra être flexible et assurer la communication avec des systèmes experts (aqueduc, égouts et autres si requis) alimentant le système.

Les villes québécoises et nord-américaines nécessitent un système qui répond à leurs besoins opérationnels sans changer drastiquement leurs pratiques, qui soit convivial et qui demande un minimum de données pour le faire fonctionner.

Il est également essentiel que la méthodologie d'élaboration de la base de données des infrastructures soit éprouvée. Le système ne pourra pas fonctionner sans une base de données des infrastructures qui aura été initialisée au préalable par des données minimalement indispensables (Curodeau, 1998).

La figure 1 représente de façon schématique la suite des activités requises pour la réalisation du plan triennal. Il est, en fait, une vue générale du processus actuel (Lalonde et Curodeau, 1998a). Ce processus a été déduit de discussions avec des gens faisant partie de diverses organisations québécoises, canadiennes et nord-américaines, soit : Sainte-Foy, Québec, Beauport, Charlesbourg, Verdun, Boucherville,

Los Angeles, San José, Oakland (EBMUD), Sacramento, Santa Clara, Long Beach, Hamilton, Moncton et l'Armée navale canadienne.

Les municipalités nord-américaines doivent gérer l'entretien d'une grande quantité d'infrastructures et offrent à leurs citoyens beaucoup de produits et services. Les transferts gouvernementaux sont de plus en plus nombreux et les contraintes budgétaires forcent les municipalités à reconstruire leurs façons de prioriser les travaux à exécuter sur leurs infrastructures – amplifié par la détérioration rapide des infrastructures au cours des dix dernières années.

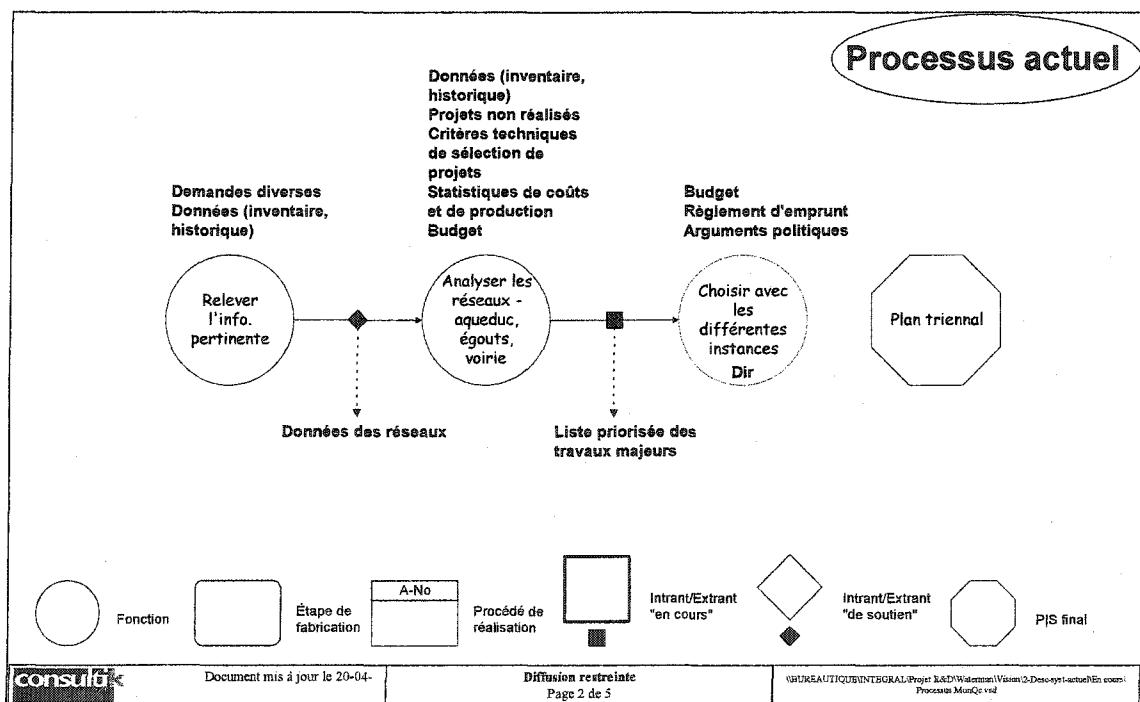


Figure 1 Processus actuel d'élaboration de plans d'intervention dans les villes
(source: Lalonde et Curodeau, 1998a)

Les contraintes budgétaires sont omniprésentes, tout particulièrement lors de l'élaboration des plans directeurs qui déterminent les travaux qui seront effectués sur les réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie. Présentement, pour produire un plan triennal global, on évalue tout d'abord l'état du réseau de voirie et, ensuite, les réseaux

d'aqueduc et d'égouts correspondants. On sait pertinemment que les travaux faits sur un réseau peuvent influencer la mise en priorité des travaux sur d'autres infrastructures.

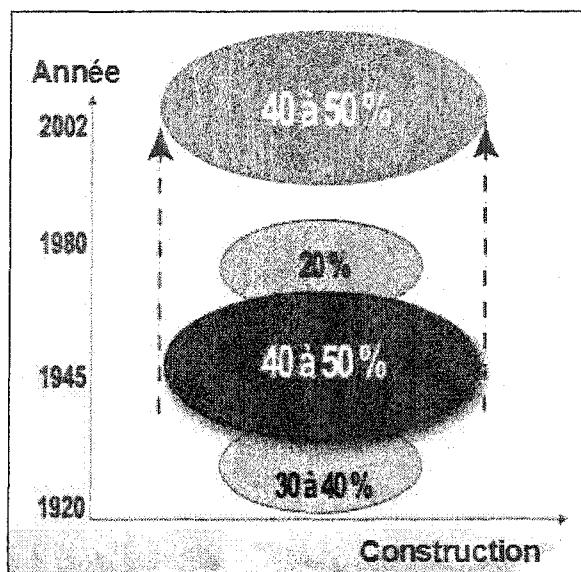


Figure 2 Retour du renouvellement des infrastructures d'après-guerre

De plus, les intervenants municipaux ne sont pas en mesure de déterminer précisément l'état réel des réseaux et d'optimiser la mise en priorité des travaux, et ce, tout en tenant compte de l'état des autres infrastructures. Par conséquent, l'ampleur ou les coûts des travaux à exécuter sont souvent mal évalués. Actuellement, on n'est pas en mesure d'évaluer les impacts des travaux faits sur les infrastructures, ce qui occasionne des coûts supplémentaires et une gestion réactive.

Pour en arriver à estimer l'état du réseau, les municipalités doivent gérer des multitudes de données hétéroclites. Dans la plupart des cas, elles n'ont pas les outils pour effectuer le traitement des données. Cette situation fait en sorte qu'il est humainement impossible de considérer tous les paramètres et les données qui y sont associés pour faire des choix éclairés. Par conséquent, on perd beaucoup de temps et d'argent pour

traiter les informations ou encore pire pour assumer les conséquences d'une mauvaise décision.

Toute cette situation nous démontre à quel point il est difficile de faire un plan directeur intégré pour les organismes municipaux. De plus, il faut souligner que les municipalités sont des organismes publics. Donc, les gestionnaires se doivent, aussi, d'être en mesure de fournir des informations aux élus afin qu'ils prennent de bonnes décisions dans les intérêts de tous les citoyens.

En résumé, pour produire un plan directeur intégré, on doit pouvoir établir l'état réel des réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie et déterminer les interventions requises afin d'obtenir un niveau de service assurant la satisfaction des citoyens. En plus des éléments techniques, on doit aussi tenir compte de contraintes de différentes natures imposées par les décideurs et des contraintes budgétaires qui ont une influence importante sur l'établissement d'un plan directeur intégré. La grande difficulté réside dans l'évaluation de l'état réel du réseau et à prioriser les travaux en tenant compte de l'interaction entre les différents réseaux tout en considérant une grande diversité de contraintes socio-économiques. Ceci est impossible sans le support d'un logiciel qui permet de gérer et traiter les informations requises pour produire un plan directeur intégré (Curodeau, Lalonde et Legras, 1998).

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

Cette partie présente une revue de la littérature des concepts récents relatifs à la gestion des infrastructures urbaines sur les thèmes suivants : la sélection de l'information pertinente, l'évaluation de l'état des actifs, l'identification de l'intervention appropriée à appliquer, la mise en priorité et l'intégration des plans d'intervention de plusieurs réseaux techniques.

Une mise à niveau, avant d'approfondir le sujet, s'impose quant à la définition des termes analyse « projet » et analyse « réseau ». En effet, la différence fondamentale entre l'analyse « réseau » et celle « projet » est l'objectif poursuivi. Le gestionnaire qui veut avoir une estimation des coûts et les endroits appropriés d'investir les sommes disponibles fera en premier lieu une analyse de type « réseau ». À l'opposé, une analyse de type « projet » permettra au gestionnaire d'identifier très précisément la technique d'intervention, le coût associé en tenant compte de tous les éléments de contexte. Cependant, la seconde, bien que plus précise, est très coûteuse en terme d'information requise. Elle ne peut donc pas être pratiquée systématiquement à l'ensemble du parc d'actifs d'une organisation. L'objectif poursuivi dans ce mémoire est d'établir une méthodologie pour démontrer l'application d'un système de gestion en ayant en vue une analyse « réseau ». Une précision est apportée dans le rapport de Misra, Roohanirad et Somboonyanon (2003).

Cette dualité ne doit pas être confondue avec les termes anglais « Top-down Approach» ou approche descendante et « Bottom-up Approach » ou approche ascendante. Bien que similaire, il existe une nuance : l'approche descendante est utilisée pour la planification stratégique à long terme des politiques et des programmes, alors que l'approche ascendante sert à planifier à court terme les immobilisations des projets (Colicott, 2003). Les types d'analyse « projet » et « réseau » sont des formes de « Bottom-up Approach » puisque les deux requièrent une connaissance de l'inventaire et de l'état dans lequel il est, parfois détaillé, parfois sommaire, selon le cas.

Ils sont appliqués pour un plan d'intervention court à moyen terme, allant jusqu'à dix ans. L'approche descendante requiert plutôt une connaissance de l'envergure des actifs sans connaître la localisation, l'état ou le détail des propriétés de ceux-ci. Ceci permettra d'extrapoler, dans un avenir éloigné, les besoins en investissement.

Pour accompagner une démarche de gestion intégrée des infrastructures urbaines, plusieurs auteurs ont formulé des guides sous la forme d'étapes ou de questions. Celles-ci permettent d'orienter les initiés à une démarche complète de gestion des actifs tout en ne perdant pas de vue l'objectif ultime : servir le citoyen avec des services publics de qualité au meilleur coût. L'Australie et la Nouvelle-Zélande, par l'entremise du « International Asset Management Manual » (NAMS & IPWEA, 2000), ont émergé dans ce domaine en formulant, à la fin des années 90, une approche en 8 étapes. Burns, Hope, et Roorda (1999), ont précisé cette approche en présentant le cas de la province de Victoria, en Australie. Celle-ci comprenait la définition des actifs, la cueillette d'information et l'évaluation de l'état, la modélisation de la dégradation et la projection de renouvellement. Gohier (2000) ajoute à la réflexion en formulant six (6) questions dans le contexte réel d'une organisation municipale, celui de la ville de Hamilton, en Ontario.

1. Qu'est-ce qu'on a?
2. Qu'est-ce que ça vaut?
3. Quelle est sa condition?
4. Que doit-on faire?
5. Quand doit-on le faire?
6. Combien ça va coûter?

Ensuite, Vanier (2000) a présenté une approche semblable.

1. What do you own?
2. What is it worth?
3. What is the deferred maintenance?
4. What is its condition?

5. What is the remaining service life?
6. What do you fix first?

Consultik (2000a) ont adapté ces questions à la réalisation d'un projet de gestion intégrée des infrastructures.

1. Quelle infrastructure possédon-s-nous?
2. Quel est l'état des réseaux individuels?
3. Quel est l'état intégré des trois réseaux?
4. Quelle est la durée de vie restante?
5. Quels travaux devons-nous faire en premier?

Higgins (2003), sous le couvert du guide national des infrastructures, a enfin présenté les questions auxquelles un gestionnaire devrait répondre pour accomplir une gestion saine des infrastructures publiques.

1. Que possède-t-on et où cela se trouve-t-il? (Inventaire)
2. Combien cela vaut-il? (Coût et taux de remplacement)
3. Quels en sont l'état et la durée de vie restante prévue? (État et évaluation des capacités)
4. Que doit-on faire? (Capital et plans de fonctionnement)
5. Quand doit-on le faire? (Capital et plans de fonctionnement)
6. Combien cela coûtera-t-il? (Plans financiers à court et long terme)
7. Comment obtient-on la durabilité? (Plans financiers à court et long terme)

1.1 Sélection de l'information pertinente

La sélection des informations dans le processus de prise de décision est essentielle puisqu'il faut rechercher un compromis entre l'information suffisante pour l'identification éclairée des interventions à réaliser et minimiser les coûts de cueillette et de mise à jour de cette information.

Tout d'abord, la quête d'identifier les informations minimales requises pour faire un choix éclairé de gestion date déjà de plusieurs années. À travers le monde, plusieurs initiatives ont été mises de l'avant dans ce but. Pour n'en nommer que quelques-unes, notons celles du MIDS en Ontario (2000), le CERIU au Québec (2000), l'Armée américaine aux États-Unis (1999). Sur un autre plan, des entreprises de logiciels ont également fait une avancée dans ce domaine, notamment les fournisseurs de logiciels de gestion de l'information sur les actifs tels Hansen, GBA et les concepteurs de systèmes d'information géographique comme ESRI qui propose une structure de données initiale pour la gestion des infrastructures urbaines. La faiblesse de ces modèles réside dans le fait qu'aucun n'est orienté pour le résultat final qui est de produire, dans notre cas, un plan d'intervention utile à la prédiction des investissements requis à moyen et long terme. Certains systèmes émergent dans un marché en pleine ascension, ce qui nous donne quelques exemples de modèles de données applicables. Les initiatives comme CARE-W, CARE-S et UtilNets en Europe proposent des structures de données pour la prise de décision, pour les réseaux souterrains. Déjà, les systèmes de gestion des chaussées ont proposé une sélection des données à gérer pour la prise de décision éclairée. L'autre inconvénient est que, souvent, les modèles proposés sont ciblés pour un domaine, soit l'eau potable ou les chaussées, sans vision globale de la problématique.

Certaines approches, telle l'approche descendante (Top-Down Approach), favorisent une réduction du nombre de propriétés en acceptant une précision plus faible.

Lorsque les données disponibles sont insuffisantes, une autre méthode de réduire les coûts engendrés par la collecte de l'information est de concentrer les efforts de relevés dans les secteurs plus critiques dans lesquels les problèmes sont plus susceptibles de se produire. Ce concept de priorités de relevés a évolué dans la dernière décennie. Exposé dans le Manuel de l'ASCE écrit par Schrock et al. (1994), la méthode préconisée est de caractériser les secteurs selon divers critères. Plusieurs auteurs ont ensuite identifié les critères de base qui déterminent la probabilité de problèmes qui engendrent une priorité d'investigation et utilisent différentes méthodes d'analyse statistique du potentiel de problèmes. Un des relevés les plus onéreux est l'inspection

des conduites d'égouts par caméra conventionnelle. Une approche Bayésienne amenée par Hahn, Palmer et Merrill (1999); Hahn, Palmer, Merrill et Lukas (2000) appose une priorité d'inspection. Yan et Vairavamoorthy (2003) ont inséré la théorie de la logique floue pour identifier les endroits au potentiel élevé de problème. Clancy, Gustafson et Higgins (2002) ont utilisé le SIG pour ajouter une analyse spatiale au processus. Toutefois, la somme d'information considérée est importante. Les secteurs où des problèmes peuvent survenir correspondent à des conditions empiriques définies par plusieurs auteurs. Dans la volonté d'adopter une approche analytique, on regroupera les diverses conditions dans les critères suivants :

- ❖ âge des tronçons présents dans le secteur;
- ❖ matériaux des tronçons du secteur;
- ❖ historique des interventions effectuées sur les tronçons du secteur et historique des problèmes du secteur : le degré d'intervention sur les tronçons, la sollicitation induite aux tronçons et l'historique des problèmes.

Les données récupérées lors de campagnes de collecte de données doivent être greffées minutieusement aux parties du réseau correspondantes. La segmentation des actifs linéaires intervient alors dans le processus. Les règles de segmentation suivent le besoin pour lequel l'information est destinée. Les fournisseurs de SIG ont proposé des règles de sectionnement des éléments linéaires basées sur des besoins d'analyse spatiale. Les règles proposées pour les réseaux routiers sont d'intersection à intersection (Haas, 1994) pour les réseaux urbains. Dans leur rapport, Misra et al. (2003) détaillent les types de limites que peut circonscrire un segment de chaussée. En ce qui a trait aux réseaux d'aqueduc et d'égouts, les règles de découpage des conduites ont été initiées par les fournisseurs de modèle hydraulique. Elles ont été faites avec un objectif de représenter le plus fidèlement le réseau dans son comportement. Ainsi, comme le présentent Walski et al. (2003) et EPA (2000), un réseau d'aqueduc doit comporter des nœuds aux endroits suivants :

- ❖ jonctions, qui représentent un changement de direction (coude, té, croix), un changement d'un propriété intrinsèque de la conduite (diamètre, matériau, etc.) ou les extrémités d'une pompe;
- ❖ réservoir de source infinie;
- ❖ réservoir à capacité limitée;

Un réseau d'égouts se définit par les limites suivantes (EPA, 2004), très semblables à celles que l'on retrouve en aqueduc :

- ❖ jonctions, qui représentent un changement de direction (coude, té, croix), un changement d'un propriété intrinsèque de la conduite (diamètre, matériau, etc.) ou les extrémités d'une pompe;
- ❖ exutoire, d'où l'eau est évacuée dans un cours d'eau;
- ❖ diviseur de débit;
- ❖ bassin de captage, où l'eau est entreposée temporairement ou tout autre dispositif de retenue d'eau.

C'est Deb (1994) qui apporte une précision sur le besoin de considérer l'ensemble des actifs dans la définition des limites. D'autres ont poursuivi cette idée comme Higgins, Gustafson et Clancy (2002). Ceux-ci ont affirmé qu'il y avait une opportunité à réduire les coûts associés à la livraison de services publics et ont démontré la faisabilité de cette approche dans un contexte municipal, celui de la ville de Saskatoon.

1.2 Évaluation de l'état des actifs

Les critères permettant d'évaluer l'état actuel des actifs diffèrent d'un type de réseau à un autre. Des cotes sont employées pour traduire dans quelle proportion la section remplit les exigences techniques qui sont propres aux propriétés attendues de l'aqueduc, des égouts et de la voirie. Autrement dit, on quantifie, au moyen de cotes, le degré d'atteinte des propriétés attendues des sections. Chacun de ces critères sera exposé en fonction du réseau technique associé.

1.2.1 Réseau de distribution de l'eau potable (aqueduc)

L'AWWA a été la première à publier une règle selon laquelle un réseau d'aqueduc devrait être évalué selon les quatre critères fondamentaux inter-reliés, repris dans un texte de Lemieux (1996) :

- ❖ intégrité physique;
- ❖ perte d'eau;
- ❖ capacité hydraulique;
- ❖ qualité de l'eau.

Ensuite, en ce qui a trait à l'intégrité physique, Felio (1997) mentionne « Le constat de l'état de la structure n'est pas suffisant. Pour que l'information soit utile, il faut l'utiliser dans le contexte de la durée de vie du système, c'est-à-dire prévoir quand il faudra effectuer un entretien, une réparation ou une réhabilitation. » Klusman (1995) expose les règles à suivre pour implanter un système de gestion de l'entretien en distribution de l'eau et il mentionne : « Systems or areas of high priority should include *those with high failure rates or recurring problems and those that have a high safety environmental or cost impact* ». Il ajoute plus loin « [...] mechanical integrity is a priority in all situations where potential safety and environmental impacts are significant ». Le Gauffre (1997), fait remarquer que l'exploitation des données d'historiques a permis d'établir sur certains réseaux que 70 % des défaillances survenues sur dix ans concernaient des conduites déjà défaillantes auparavant (Botzung et Madiec, 1994) : soit 16% des conduites et 22% du linéaire étudié. L'auteur mentionne que les critères de décision relatifs à la sensibilité du milieu urbain, aux fuites et aux classes de conduite constituent un axe de travail important. Diverses études ont été effectuées sur le sujet. Dans Klusman (1995), une règle de décision, pour déterminer si une opération d'entretien doit être entreprise ou non, utilise la sévérité des fuites comme critère de décision. Chevalier (1996) considère que la condition générale des sections est liée au nombre de bris. Lemieux (1996) mentionne que lorsque le taux de bris dépasse « [...] 0.006 bris/km/année, le système de distribution mérite une auscultation plus approfondie. Si une conduite spécifique subit des bris à un rythme $N_B > 0.06$ bris/km/année, elle est

alors candidate à la réhabilitation ou au remplacement ». Dans ce cas, N_B signifie « nombre de bris » et années, le nombre d'années s'étant écoulées depuis l'installation de la conduite. De plus, Demassue (1996) présente les critères de la *Compagnie générale des eaux* pour juger les seuils de fuites acceptables selon le type de réseau (rural, semi-urbain, urbain). Une étude citée dans Luxhoj et Tao (1994) établit les priorités d'intervention en fonction du pourcentage de pertes d'eau (principalement des fuites mesurées en kl/jour) a été utilisé.

Plus récemment, Yates et al. (2002), à l'intérieur du Guide des meilleures pratiques, ajoutaient que l'enregistrement des bris, les essais physiques, l'inspection de la corrosion, la détection des fuites, la vérification du coefficient Hazen-Williams, le contrôle de la qualité de l'eau et les plaintes des utilisateurs comptaient parmi les critères à retenir. De plus, les règles ne sont pas les mêmes pour les conduites de petit diamètre que celles de grand diamètre. Cette liste exhaustive reprend le constat de plusieurs auteurs (Collicott et Filion, 2002); (Herz, 2002); (Kleiner et Rajani, 1999; 2003); (Lalonde et Prince, 2003); (Mailhot, Pelletier, Noel et Villeneuve, 2000a; 2000b); (Mailhot, Poulin et Villeneuve, 2003); (Pelletier, Mailhot et Villeneuve, 2003); (Poulton, 2003); (Powell, 2003).

Enfin, l'AWWA (2003) a publié un manuel pour la gestion des réseaux d'aqueduc pour les petites communautés. Ce guide présente les concepts de base pour élaborer un plan de gestion des actifs reliés à l'eau potable.

En ce qui a trait à la capacité hydraulique, la performance est mesurée en terme de pression et de débit (Demassue, 1996); (Kim et Mays, 1994). Deb (1994) énonce une série de critères permettant d'évaluer l'état hydraulique de l'aqueduc en les séparant en deux catégories : critères primaires et secondaires. Le tableau suivant présente les critères.

Tableau I

Critères d'évaluation de la capacité hydraulique

Principales	Secondaires
Débit disponible	Coefficient Hazen-Williams
Pression disponible	Présence de tubercules
Eau non comptabilisée	
Coûts de pompage	

(source: Deb, 1994)

À ces critères s'associent des standards reliés à la qualité de l'eau. Ces standards permettent d'évaluer l'adéquation du niveau de service spécifié et observé sur le terrain. Deb mentionne que la pression minimale à respecter est de 20 psi (138 kPa). Cette valeur est par ailleurs prescrite dans la norme 001 du ministère de l'Environnement au Québec. Pour ce qui est du débit incendie à respecter, il s'agit d'un critère relatif au type de bâtiment. Courtemanche (2002) présente, pour sa part, les informations qui sont rendues disponibles par les logiciels de modélisation hydraulique, soit la pression aux nœuds, le débit disponible lors d'une sollicitation donnée et le temps de parcours de l'eau depuis la source. Une étude faite par CH2M HILL (1999) compare les possibilités de plusieurs modèles hydrauliques disponibles sur le marché. Deb (1994) mentionne également des critères pour la qualité de l'eau énoncés par Clark, Goodrich et Wymer (1993).

Tableau II

Critères d'évaluation de la qualité de l'eau

Primaires	Secondaires
Coliformes totaux	Temps de séjour
Chlore résiduel	Pression
Eau colorée	Présence de tubercules
Odeur et goût de l'eau	Plaintes de consommateurs
Température	Interruptions de service
Indice de corrosion	Eau non comptabilisée
Concentration de métaux	

(source: Deb, 1994)

D'autres critères traitant de l'importance d'une section comparativement à une autre et de la mise en priorité ont été énoncés par Fortin, Boileau, Montplaisir et Désilets (2003); Pascal et Revol (1993) :

- ❖ Nombre d'usagers. En moyenne, le nombre d'usagers raccordés est fonction de la classification de la conduite (son diamètre).
- ❖ Trafic. Le trafic présent sur la section est lié au nombre d'usagers qui en dépendent. Le fait d'intervenir en urgence sur une conduite se situant dans une section où le trafic est élevé génère un impact socio-économique très grand.
- ❖ Importance des usagers. Résidentiel, commercial, institutionnel (hôpitaux, écoles).
- ❖ Réseau bouclé ou non bouclé. Le fait d'intervenir en urgence sur un réseau non bouclé génère un impact socio-économique très grand (Wallen, Woodward et Powell, 2003).
- ❖ Profondeur. Plus une conduite est profonde, plus l'impact socio-économique lié à une intervention sur cette dernière est grand (conduites hors service plus longtemps, etc.).

1.2.2 Réseau de collecte et d'évacuation d'eaux usées (égouts)

Le WRc de la Grande-Bretagne est l'organisme ayant publié, en 1983, que les réseaux d'égouts devraient être évalués selon les trois critères suivants (WRc, 1984) :

- ❖ intégrité physique;
- ❖ capacité hydraulique;
- ❖ adéquation à l'environnement.

En effet, dans son article, Serpente (1994) explique les modes de détérioration d'une conduite d'égouts. Les stades de détérioration sont : le premier défaut, la détérioration puis l'effondrement. Essentiellement, les recherches du WRc ont porté sur les informations essentielles à capter lors d'une inspection télévisée d'une conduite pour identifier le stade d'avancement de la détérioration. D'autres facteurs d'influence sur le comportement des conduites, énoncés par l'auteur, sont : le matériau de la conduite, le type de sol environnant et les conditions hydrauliques auxquelles sont soumises les conduites. Une combinaison des défauts dans un arbre décisionnel fait en sorte qu'une conduite est catégorisée en un des cinq états possibles comme le présente ce tableau.

Tableau III

Liste des cinq états possibles présentés par le WRc

Grade	Condition
1	Condition structurale acceptable
2	Risque minimal de féaillance à court terme mais susceptibilité de continuation de la deterioration
3	Détérioration peu probable dans un avenir prochain mais deterioration croissante
4	Défaillance probable dans un avenir proche
5	Brisée ou défaillance imminente

(source: NAAP, 1997)

Galeziewski, Edmondson et Webb (1995) présentent un algorithme de combinaisons des critères caractérisant l'état structural de la conduite appliqué à la Ville de Phoenix. Ils catégorisent les défauts sous les thèmes corrosion, structure, autres et facteur d'impact. Chacun des défauts est mesuré en terme de pourcentage de longueur et est pondéré selon la sévérité. Le facteur d'impact est utilisé pour départager deux conduites de même état dont l'une aurait une conséquence plus grave lors de l'effondrement. La formule est présentée ci-dessous (Galeziewski et al., 1995).

$$\text{TOTAL PIPE SCORE} = (\text{COR} + \text{STR} + \text{OTH}) \times \text{IF} \quad (2.1)$$

where COR = Total Corrosion Score OTH = Total Other Defect Score
 STR = Total Structural Score IF = Impact Factor

Le résultat obtenu est ramené à l'une des cinq catégories selon l'étendue et la sévérité générale des défauts. Reyna, Delleur et Vanegas (1994) présentent le modèle MARESS qui adresse la problématique de l'évaluation des conduite d'égouts autant sur le plan structural qu'hydraulique. Il se base sur un modèle d'optimisation multicritères.

L'indice structural est dérivé d'une méthode semblable à celle exprimée par le WRc. L'auteur propose l'utilisation des résultats du modèle hydraulique SWMM – débit de conception maximum, longueur de surcharge et longueur de débordement – pour déduire une performance hydraulique. D'autres indices, tels l'impact d'un effondrement, similaire à l'approche de Galeziewski et al. (1995), et l'impact d'une intervention à tranchée ouverte ou sans tranchée, viennent compléter l'évaluation. D'autres critères plus secondaires ont été énoncés par plusieurs auteurs (Dietrich, 1995); (McGregor, 1995); (O'Reilly, 1989). Bégin (1997) démontre les critères d'évaluation structurale, hydraulique, de dérangement public et de niveau de service avec l'application à un cas réel, celui de la ville de Nepean, en banlieue de Ottawa. Bengassem, Bennis et Rhouzlane (2000) utilisent la logique floue pour définir l'indice de performance structurale basé sur l'évaluation de la condition intrinsèque de la conduite, l'évaluation de la condition extrinsèque – hydrogéologie, géotechnique, charges – et sur la

vulnérabilité du site donnée par l'occupation du sol. Également, dans sa thèse, Bengassem (2001) présente une évaluation de la performance hydraulique d'un réseau d'égouts, en tenant compte de la hauteur de mise en charge maximale selon l'équation suivante :

$$N_i = N_{\min} + (N_{\max} - N_{\min}) \left[1 - \left(\frac{PR_i - H_i}{PR_i} \right) \right] \quad (2.2)$$

- N_i est la cote allouée au tronçon i , elle varie entre deux notes N_{\min} et N_{\max} ;
- H_i est la hauteur de mise en charge maximale dans le regard amont du tronçon i calculée à partir d'une équation précédente dans le texte de l'auteur;
- PR_i est la profondeur d'enfouissement du tronçon i mesurée à partir de sa couronne amont;

Plus récemment, Hodgson et al. (2004), à l'intérieur du guide des meilleures pratiques, ajoutaient que l'évaluation des conduites d'égouts doit suivre les trois grandes catégories énoncées par les auteurs précédents. De plus, l'évaluation structurale passe par l'utilisation d'un standard d'auscultation dont la codification est balisée par des standards provenant d'institutions reconnues tels le CERIU, le CNRC, l'ASCE et le WRc. D'autres organisations ont adapté ces standards à leurs besoins spécifiques. C'est le cas notamment de la Ville d'Edmonton. L'auteur affiche également la méthode d'évaluation de la performance proposée par l'IRC (2001). L'évaluation hydraulique repose sur deux méthodes courantes : le facteur de charge théorique qui quantifie le rapport entre le débit de pointe et la capacité de la canalisation et le profil hydraulique similaire à l'approche proposée par Bengassem (2001). Les autres critères énoncés par l'auteur sont présentés au tableau suivant.

Tableau IV

Critères d'évaluation de conduites d'égouts

Hydraulique
Fréquence des inondations à l'intérieur des limites assignées
Débordements
Plaintes au sujet des odeurs
Manque d'obstacles (causés par les racines, les débris, les branchements pénétrants, etc.)
Vitesses d'écoulement minimal entre 0,6 et 0,75 m/s, dans le cas d'un égout sanitaire, et de 0,9 m/s dans le cas d'un égout pluvial ou unitaire (pour éviter la formation de dépôts dans les canalisations et les risques correspondants de blocage menant à un débordement)
Les réseaux d'égouts sanitaire ou pluvial doivent respecter les normes d'étanchéité (essais normalisés)

(source: Hodgson et al., 2004)

La prise de décision est basée sur des critères de priorité et d'importance comme le mentionnent Fortin et al. (2003); Galeziewski et al. (1995). Ces critères d'impacts socio-économiques et environnementaux de la section sont traduits par les indices suivants :

- ❖ Nombre d'usagers. En moyenne, le nombre d'usagers dépendants de la conduite est fonction de la classification de celle-ci (son diamètre).
- ❖ Importance des usagers. Déterminée par le type de secteur : résidentiel, commercial, institutionnel (hôpitaux, écoles).
- ❖ Importance du trafic. Impact socio-économique lié à une intervention sur la conduite en urgence.

1.2.3 Réseau routier

Les propriétés d'un réseau routier sont basées sur la mission qui est de permettre au meilleur coût l'écoulement actuel et futur du transport des usagers de façon sécuritaire et avec un niveau de confort acceptable. Les propriétés mesurées permettent d'établir jusqu'à quel point une section contribue à sa mission. Ce degré d'atteinte de la mission attendue du réseau est intimement lié à l'urgence d'intervenir sur une section donnée.

La qualité de la chaussée et l'évaluation de l'intégrité physique actuelle de celle-ci qui reflète le confort des usagers (condition de la surface et uni). Une déficience majeure peut entraîner une baisse de sécurité et une accélération du taux de dégradation entraînant des coûts plus élevés d'utilisation et d'entretien de la chaussée. La firme SETRA INC. utilise une cote de dégradation de la surface s'exprimant par une fonction des différents types de dégradation et ornières mesurés à la surface ainsi qu'une cote de confort au roulement fonction du profil longitudinal. Une cote de qualité fonctionnelle globale est aussi calculée par la moyenne arithmétique des deux précédentes. Toutes les cotes du système expert et de gestion des chaussées ROMSYS s'échelonnent entre 0 et 10. Le système ROMSYS de la firme SETRA INC. évalue les soulèvements différentiels en comparant les profils longitudinaux mesurés l'hiver avec ceux mesurés l'été et à partir d'observations visuelles sur les tassements et soulèvements différentiels observables à la surface. De façon similaire, le ministère des Transports du Québec utilise la différence entre les profils longitudinaux d'hiver et d'été définie par $\Delta IRI = IRI_{\text{hiver}} - IRI_{\text{été}}$, ainsi que les types de dégradation associés aux problèmes de gel (Durand, 1993). La Cote visuelle de la Ville de Montréal, énoncée dans Senneville et Lachambre (1982), est évaluée intuitivement entre 0 et 5. Elle est très subjective étant fonction seulement de l'aspect visuel de la chaussée. Le Present Serviceability Index de l'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1993) (anciennement AASHO, 1962) s'échelonne de 0 à 5 et s'exprime sous la forme $PSI = f$ (profil longitudinal, ornières, dégradations de la surface). L'Indice de Rugosité International de Sayers, Gillespie et Paterson (1986) s'exprime par $IRI = f$ (profil longitudinal). Cet indice est basé sur un modèle numérique simulant la réaction de la suspension d'une roue de véhicule normalisée circulant sur le profil arpentiné avec précision et digitalisé de la chaussée. Il est

exprimé par le rapport des mouvements verticaux accumulés dans la suspension divisés par la distance traversée durant l'essai. On retrouve généralement des valeurs entre 1 (très bon) et 10 (très mauvais) m/km ou mm/m pour des chaussées revêtues. Cet indice est directement associé avec les coûts d'utilisation des véhicules puisqu'il affecte leur usure ainsi que la consommation d'essence.

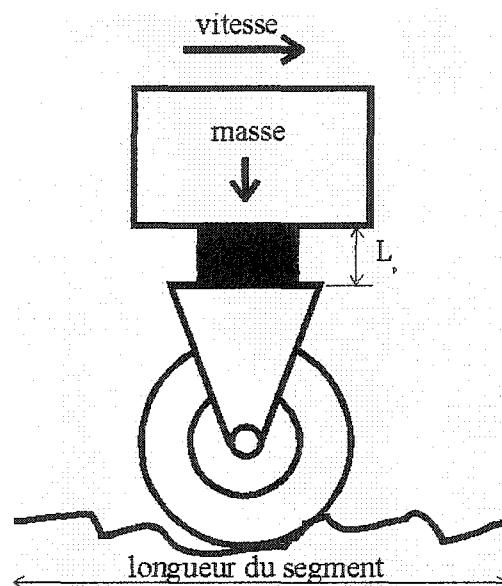


Figure 3 Schématisation du modèle mathématique de l'indice IRI
(source : Chartrand, 1991)

Il existe, d'autre part, une équation de corrélation avec l'IRI pour la plupart des autres indices existants. La figure 4, provenant de la Banque mondiale (Sayers et al., 1986), décrit la gamme des valeurs d'IRI généralement rencontrées.

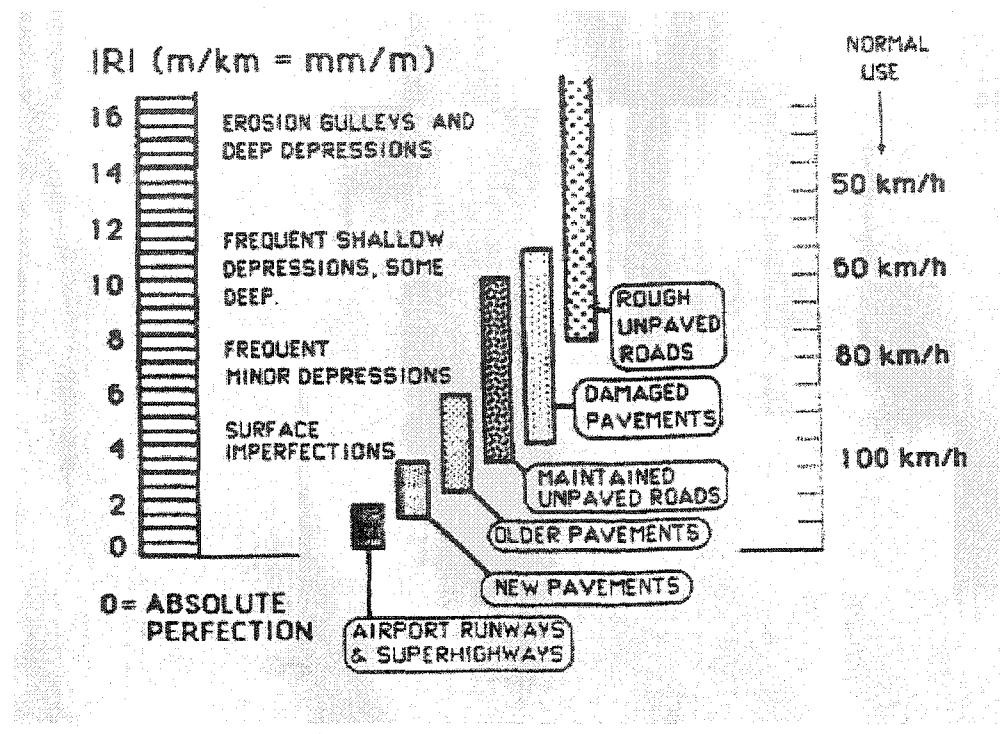


Figure 4 L'échelle de l'indice de rugosité international IRI
(source: Sayers et al., 1986)

Certains travaux ont déjà été réalisés afin de définir le seuil d'un à partir duquel les usagers estiment qu'une intervention sur la chaussée serait requise. Les travaux précédents, adaptés au contexte québécois, ont abouti à la relation suivante entre l'indice IRI et le pourcentage d'usagers qui réclament une intervention (Chartrand, 1991):

$$BE = -26,83 + 14,27 (IRI) - 0,39 (IRI)^2 \quad (2.3)$$

où IRI est exprimé en m/km

BE = Besoins en entretien, i.e. % des usagers consultés qui réclament des travaux.

Un contrôle logique doit être effectué pour restreindre BE entre 0 et 100. Cette relation indique que 50 % des usagers réclament des travaux à une valeur d'IRI de 6,5. Ce pourcentage s'accroît jusqu'à 100% pour un IRI de 15 et il n'y a pratiquement pas d'usagers qui réclament une intervention à des valeurs inférieures à 2,0. Le Pavement

Condition Index de l'Armée américaine (Engineers, 1989) s'exprime entre 0 et 100 sous la forme $PCI = f$ (dégradations de la surface). Cet indice a été signifié comme standard reconnu par l'ASTM (ASTM, 1999). Le Pavement Condition Rating du ministère des Transports de l'Ontario (Ontario, 1982) s'exprime par $PCR = f$ (dégradations de la surface) et son Riding Comfort Rating s'exprime par $RCR = f$ (profil longitudinal). Ils s'étaient entre 0 et 10. Dans leur rapport, Misra et al. (2003) reprennent les indices mentionnés par les auteurs précédents, soit l'IRI et le PCI. Le PCI est calculé à partir de la somme pondérée des défauts relevés lors de l'inspection visuelle et déduite d'une valeur initiale – 100. La correspondance qualitative de l'état, associée au PCI, est présentée dans la figure 5.

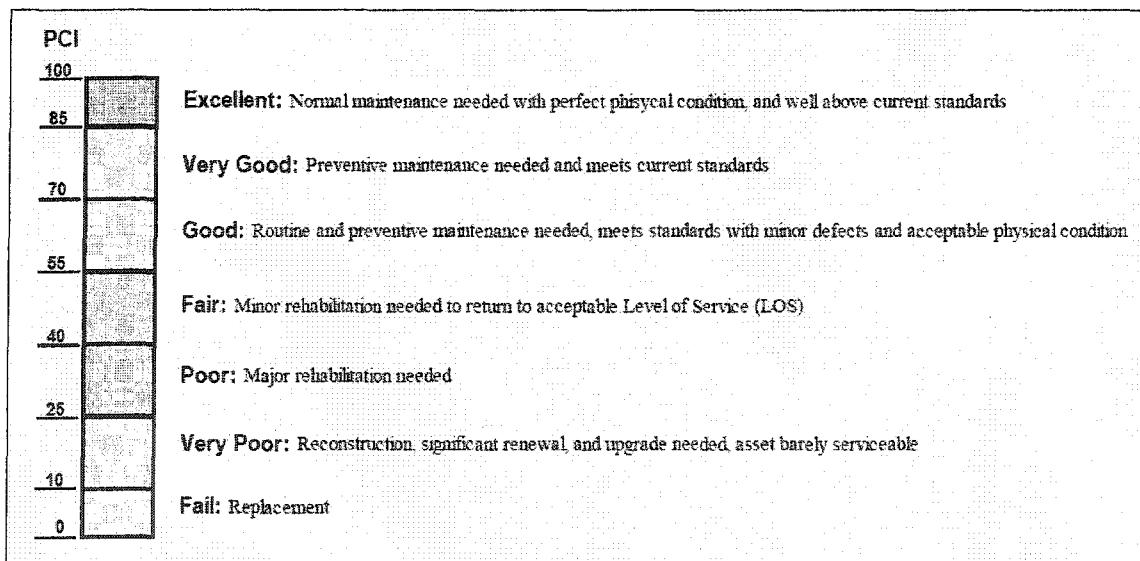


Figure 5 Correspondance qualitative du PCI
(source: Misra et al., 2003)

Bégin (1997) énonce les critères d'évaluation du confort au roulement, des défauts de surface et de capacité structurale du système IMS de la firme Stantec avec l'application à un cas réel, celui de la ville de Nepean, en banlieue de Ottawa.

La qualité de la capacité structurale de la chaussée est l'évaluation de l'habileté des infrastructures routières à supporter les sollicitations et l'environnement auxquels elles

sont et seront soumises (sols, eau, gel, trafic lourd). Cette mesure permet d'évaluer et de tenir compte de la qualité fonctionnelle future de la chaussée. Le système ROMSYS de la firme SETRA exprime la qualité structurale par une cote de capacité structurale de 0 à 10, elle-même calculée par des essais de déflectométrie (principalement le dynaflect) en fonction de la densité du trafic lourd (DTN) et des variations saisonnières de la rigidité des sols en place. Cette cote est directement reliée à une capacité portante exprimée en tonnes et au rechargement structural requis en centimètres de béton bitumineux pour soutenir le trafic lourd existant avec un cycle de vie de 20 ans. L'interprétation des types de dégradation associés à ces problèmes (carrelage, fissures longitudinales en piste de roues, ornières à grand rayon, fissures polygonales) est aussi utilisée par ce système lors du diagnostic de la performance structurale de la chaussée. De façon similaire, le ministère des Transports du Québec utilise la capacité de support dynaflect (Amiri, St-Laurent, Lefrançois, Bizier et Giguère, 1997) et FWD (St-Laurent, 1995) en fonction de la densité du trafic lourd ainsi que les types de dégradation associés à ces problèmes (Durand, 1993). Le guide de l'AASHTO (1993) exprime la qualité structurale d'une chaussée par deux paramètres en plus du nombre de véhicules lourds, soit le nombre structural $SN = f$ (épaisseurs, rigidités et capacité de drainage de chaque couche de la structure, p. II-26) et le module de l'infrastructure $M_R = f$ (la rigidité du sol support et de ses variations saisonnières, elles-mêmes fonction du type de sol et de l'environnement, p II-13). Notons que l'aspect de la capacité de drainage et des variations saisonnières consiste à l'utilisation de coefficients intuitifs ou à la réalisation de sondages et tests extrêmement laborieux. Les autres données peuvent s'obtenir avec des sondages ou passages de géoradar (épaisseurs) et essais de laboratoire (rigidité), mais aussi indirectement à partir d'essais de déflectométrie non destructive comme le déflectomètre FWD (Falling Weight Deflectometer) ou le dynaflect. Ces méthodes sont reconnues les plus fiables puisqu'elles sollicitent l'ensemble de la structure sollicitée en grandeur nature dans son environnement (Ullidtz, 1987). Grâce à la croissance des outils informatiques et à l'émergence de nouvelles technologies d'auscultation (ex. FWD et géoradar), plusieurs sociétés de transport utilisent maintenant des modèles de simulation dits "analytiques" (St-Laurent, 1995). Ces modèles sont basés sur des variables plus fondamentales telles que les épaisseurs et modules de déformation de chaque couche (similaires au module

d'élasticité de Young des structures métalliques) et la profondeur du socle rocheux ainsi que les lois de fatigue des matériaux impliqués (coefficients = f (viscosité du bitume, autres propriétés des mélanges, sols et granulats)) afin de déterminer le nombre de véhicules lourds admissibles avant rupture par fatigue ou orniérage par tassement et le rechargement requis afin de respecter un espérance de vie donnée.

La qualité fonctionnelle des abords de la chaussée est une mesure de l'intégrité physique actuelle qui reflète le confort des piétons. Une déficience majeure peut entraîner une baisse de sécurité pour les piétons et une accélération prématuée de ces dégradations dans le futur. L'évaluation des trottoirs de la Ville de Montréal, est basée sur les trois caractéristiques physiques suivantes représentées par trois cotes: l'état visuel du trottoir, la hauteur de la bordure et la pente de drainage (Senneville et Lachambre, 1982). Le système utilisé chez SETRA INC. est basé sur une appréciation visuelle des travaux à effectuer et une cote visuelle sur 10 pour permettre la priorisation.

La qualité de la capacité de circulation (niveau de service) est reliée à la capacité actuelle et à venir des infrastructures de voirie à satisfaire la demande de l'écoulement du transport des usagers. Une capacité déficiente se traduira par des problèmes de congestion routière et des pertes de temps et d'argent indésirables pour les usagers. Des études de flux de circulation, impliquent une zone d'influence de plusieurs segments et des essais de déplacement chronométrés sur différents itinéraires ou des comptages détaillés, des enquêtes. L'utilisation de logiciels spécialisés pour la simulation de flux de circulation, peut permettre de vérifier, calculer et optimiser le design routier à la circulation (Board, 1994; 1996).

La qualité de la sécurité est une combinaison de facteurs internes et externes à une section qui peuvent mettre en danger la sécurité des usagers (visibilité réduite, signalisation inadéquate, vitesse excessive, mauvais aménagement municipal, absence de trottoir, etc.). Les causes affectant la sécurité routière peuvent provenir de facteurs humains, des véhicules eux-mêmes, de l'environnement routier ou socio-économique

(Haddon, 1972). On peut énumérer les paramètres suivants qui peuvent constituer des dangers potentiels reliés à la section de chaussée elle-même:

- ❖ mauvaise adhérence : Hauteur de sable (HS), Coefficient de frottement transversal;
- ❖ ornières trop profondes (plus de 20 mm);
- ❖ profil longitudinal excessivement mauvais;
- ❖ visibilité réduite (dans zone de dépassement, intersection ou autre point critique, mauvais éclairage);
- ❖ signalisation ou marquage inadéquat;
- ❖ absence de zone de dépassement sur de grandes distances;
- ❖ vitesse de circulation inadéquate;
- ❖ mauvais relief, mauvaise géométrie, courbe mal faite ou mauvais aménagement des accès;
- ❖ dévers inapproprié dans une courbe;
- ❖ accotements inadéquats;
- ❖ absence de trottoir sur un axe important.

La prise de décision quant à la priorité d'investir sur l'entretien d'un objet quelconque parmi d'autres ne peut se faire de manière éclairée sans que son impact socio-économique relatif ne soit pris en compte. L'importance de la section est strictement utilisée pour la détermination de la priorité d'intervenir sur une section plutôt que sur une autre lorsque les budgets ne permettent pas d'intervenir sur toutes les sections. Le système ROMSYS de la firme SETRA INC. utilise la hiérarchie des sections déclarées par l'utilisateur (artères, collectrices ou industrielles et locales) dans le calcul de l'indice de priorité d'intervention sur les sections, en tenant compte de leur importance relative au sein du réseau. Dans un ordre d'idées parallèle, Haas (1994) avance que l'indice PSI (qualité fonctionnelle) optimisant le rapport des coûts d'opération des véhicules et des coûts de réhabilitation se trouve entre 2,0 et 2,5 pour des réseaux de chaussées urbaines, mais qu'il se situerait plus autour de 3,0 dans le cas des chaussées rurales où la circulation est plus rapide. Plus récemment, un projet d'analyse multicritères a permis d'afficher d'autres critères pouvant intervenir dans la mise en priorité (Fortin et al., 2003).

1.3 Calcul d'un indice global

Selon Haas (1994), il n'existe pas de formule universelle permettant d'établir une cote globale pour l'aqueduc, les égouts ou les routes. En fait, diverses méthodes de travail ont été proposées. On peut en particulier s'inspirer des approches envisagées dans le domaine de la voirie pour les adapter aux besoins de chaque réseau. Une méthode de définition des priorités est citée par Haas (1994) comme efficace : un indice de priorité Y traduit la condition de l'infrastructure. Plus l'infrastructure est en mauvaise condition, plus son traitement est prioritaire. La détermination de la cote globale Y n'est basée que sur des critères techniques. Il s'agit d'un bon compromis entre les méthodes mathématiques complexes d'optimisation et les évaluations subjectives qui ne se rapprochent nullement de la décision optimale. Dans son article, Landry (2000) propose une équation simple pour l'évaluation de l'état global d'un segment.

$$\boxed{\text{ÉTAT} = \frac{\sum \text{Qualités originales} - \sum \text{défauts}}{\sum \text{Qualités originales}}} \quad (2.4)$$

Dans sa thèse, Bengassem (2001) propose l'application du concept de logique floue pour amalgamer les diagnostics structural et hydraulique. Le raisonnement appliqué est le suivant :

- ❖ si l'état structural de la conduite tend à être plus détérioré (ECI est grand);
- ❖ ou si la responsabilité relative de refoulement (RR) tend à être grande;
- ❖ et si le site tend à être vulnérable (VS élevée);
- ❖ alors l'indice de performance de la conduite tend à augmenter.

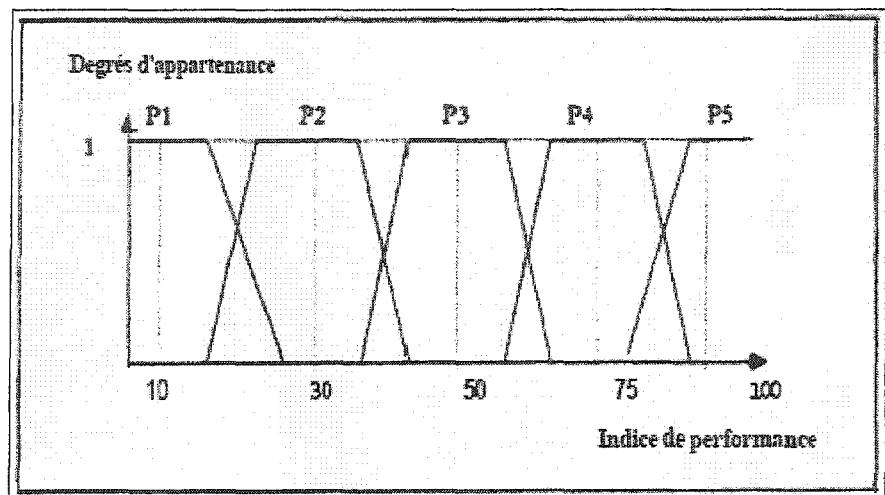


Figure 6 Indice de performance globale
 (source : Bengassem, 2001)

Plus récemment, un projet d'analyse multicritères proposait une approche pour permettre l'intégration des indices individuels (Fortin et al., 2003).

$$A = \sum a_i * w_i \text{ where } i=1, 2, 3, \dots, N \quad (2.5)$$

A : Indice global

a_i : Valeur de chacun des indices individuels

w_i : Poids associé à chacun des indices individuels

1.4 Identification du type d'intervention

L'automatisation des critères de décision pour définir l'applicabilité d'un type d'intervention prend naissance avec les systèmes de gestion des chaussées.

Dans son livre, Haas (1994) fournit une matrice de décision appliquée à la voirie. On y retrouve la liste des réhabilitations à effectuer, en fonction des détériorations

enregistrées sur des sections de routes. Herbert (1994) énonce plusieurs critères dans son article pour confirmer l'applicabilité d'une intervention de type réhabilitation. Certains auteurs, tel Baik, Abraham et Gokhale (2002), préfèrent se concentrer sur des arbres de décision plus détaillés, requérant un nombre plus élevé de données, pour analyser la faisabilité d'un projet. Plus récemment, Haas, Tighe et Cowe Falls (2003) ont présenté une approche axée sur l'analyse du coût sur le cycle de vie de l'actif pour identifier la meilleure alternative à appliquer. Ceci tient compte cette fois de la prédiction de l'état dans le temps. Lalonde, Isenor, Lewis et Landry (2003) ont présenté une approche inspirée de la littérature pour développer un plan d'intervention pour la Ville de Moncton. Récemment, le guide national sur les infrastructures urbaines a réalisé plusieurs meilleures pratiques dans le but de définir le processus d'identification du type d'intervention à retenir.

1.5 Intégration de la planification des actifs

Bien que faisant partie de la logique même, l'intégration des réseaux techniques pour harmoniser leur planification est assez récente dans la littérature. En fait, les gestionnaires de réseaux techniques coordonnent depuis des années la planification des travaux des réseaux souterrains avec ceux de la surface avec quelques ratés. Les premières ébauches de systèmes automatisés permettant le regroupement des actifs sous une même unité d'analyse apparaissent au début des années quatre-vingt-dix. Le projet CWIMS à Chicago décrit par Kutz (1995) a pour but le développement d'un système pour aider la Ville de Chicago à identifier et à coordonner les améliorations apportées aux réseaux d'aqueduc, d'égouts et à la voirie. De plus, il doit aider à allouer les ressources financières de manière effective pour la gestion et la maintenance des réseaux. Il aide à identifier les problèmes potentiels ou les conflits dans les opérations sur les infrastructures, avant qu'elles ne deviennent critiques. Le logiciel, au moyen d'un système d'information géographique, permet de visualiser les sections où des interventions sur plusieurs réseaux ont été planifiées au niveau « projet », avant que les problèmes ne surviennent. Les concepteurs ont travaillé avec succès sur des méthodes pour faire converger des données de sources graphiques et non graphiques.

Par la suite, certaines initiatives de définition de cadres de référence pour la gestion intégrée des infrastructures municipales ont été amorcées. Mathieu, Cinq-Mars et Marcoux (2000) ont présenté un projet d'envergure regroupant dix villes importantes au Québec. Ils mentionnent que « Cette phase du projet a principalement permis de définir une structure normalisée et une définition globale pour la mise en oeuvre d'un SIAD dédié à la gestion des infrastructures urbaines. »

La même année, Landry (2000) mentionne que

« Les réseaux souterrains et de surfaces sont reliés entre eux dans la mesure où la réfection des uns aura très certainement des répercussions sur les autres. Par exemple, le repavage de surface ne sera pas effectué dans un premier temps si l'on sait que le réseau enfoui présente des problèmes auxquels on devra remédier dans un avenir rapproché. Il est possible, à la limite, de repaver un trottoir et, par la suite, réparer la partie excavée, mais il s'agit d'une solution temporaire. »

L'auteur suggère alors une façon d'intégrer l'état de chacun des actifs pour ensuite prendre une décision éclairée à l'aide d'un logiciel baptisé INFRALOGIK.

« Au niveau du tronçon, chaque infrastructure aura une cote qualité ou un état. À partir de la moyenne de ces cotes, on établit un indice d'état du tronçon (I.E.T.). Si l'écart entre l'indice d'une infrastructure en particulier et l'indice de l'État du tronçon s'avère important, cette infrastructure sera alors désignée à titre d'anomalie au tronçon. Cette approche nous permet de cibler instantanément les problèmes particuliers à résoudre. Dans un deuxième temps, INFRALOGIK définit deux autres cotes : soit les cotes surface et souterrain. [...] La cote surface est issue de la moyenne des cotes de la chaussée, des bordures et des trottoirs, alors que la cote souterraine provient de la moyenne des cotes aqueduc, égouts pluvial et sanitaire. Nous comparons ensuite ces deux cotes et évaluons ainsi la pertinence de certaines interventions. Par exemple, si la cote surface d'un tronçon est de 50 et que la cote souterraine du même tronçon est de 20, l'option réhabilitation de la chaussée est écartée. INFRALOGIK proposera alors une reconstruction complète. »

À l'intérieur de cet article, il présente le cas de Otterburn Park, au Québec, où tout est rattaché à la chaussée.

Henderson et McTaggart (2002) exposent que les organisations municipales doivent gérer un large éventail d'infrastructures publiques et que d'avoir un regard stratégique sur la gestion de celles-ci a pour avantage d'améliorer l'utilisation des sommes disponibles. Les auteurs présentent le cas de Kitchener, au Canada, sans mentionner toutefois les règles d'intégration entre les réseaux.

Higgins et al. (2002) présentent le cas de la Ville de Saskatoon, au Canada, dans lequel l'utilisation des outils SIG est mise en avant-plan. Il s'agit d'une première initiative concrète d'analyse spatiale à l'aide d'un outil SIG dans le but d'intégrer la planification des différents réseaux urbains. La figure suivante présente l'interaction 2D qui s'ajoute à l'interaction spatiale gérée par le SIG.

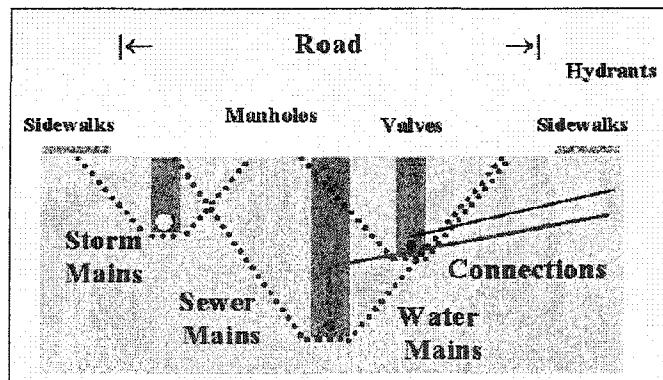


Figure 7 Coupe type représentant les interactions entre les infrastructures
(source : Higgins et al., 2002)

Un premier niveau d'intégration permet de créer une carte localisant les interventions prescrites par les arbres de décision, et ce, pour chacun des réseaux techniques. Ensuite, une série de questions permettent de définir l'ampleur des conflits entre les interventions suggérées dans chacun des réseaux. Les règles se résument comme suit :

- Les travaux sur la route peuvent-ils avoir un impact sur l'infrastructure souterraine?

- Les infrastructures en question sont-elles dans un état qui requiert une intervention avant des travaux à la chaussée?
- Les travaux à la chaussée devraient-ils être reportés étant donné l'état des infrastructures souterraines?
- Y a-t-il des facteurs qui provoqueraient un changement dans le type de travaux à réaliser sur la chaussée?
- Quel est le risque d'une mauvaise décision concernant les autres infrastructures si l'on procède aux travaux tel que prévu sur la chaussée?

D'autres auteurs, Sadek, Kvasnak, et Segale (2003), parlent d'intégration d'actifs routiers dans la planification. Toujours avec l'utilisation de systèmes SIG, les auteurs démontrent le bien-fondé de gérer la planification de multiples actifs en concomitance. Ainsi, dans le cas de South Burlington, aux USA, trois systèmes appliqués à la sélection et à la planification des interventions permettent de définir les besoins en réfection. Il s'agit d'un système de gestion des chaussées, assuré par le logiciel MicroPAVER, d'un système expert pour les ponts et viaduc, assuré par PONTIS, et d'un système de gestion du transport. Cette fois, la segmentation adoptée est simple puisque les trois systèmes reposent sur une segmentation routière.

Rousseau et Periche (2003) présentent le cas de Ville de LaSalle, au Québec, pour l'intégration de l'aqueduc et de l'égout. Ces auteurs ont cependant mis de côté la réfection de la chaussée qui demeure un élément fondamental de l'intégration des réseaux.

Lalonde et Bégin (2003) présentent le cas de la Base militaire de Halifax où l'intégration est faite au niveau des réseaux d'aqueduc, d'égouts, de chaussées et de vapeur. Les résultats amenés sont une première quant à un quatrième réseau technique.

À ce jour, peu d'organisations ont implanté un processus automatisé de gestion intégrée des infrastructures urbaines. De ce nombre, une infime partie ont publié leurs expériences.

CHAPITRE 2

DÉFINITION DES PROCESSUS D'AFFAIRES DU SYSTÈME INTÉGRÉ DE GESTION DES INFRASTRUCTURES ET DE LA MÉTHODOLOGIE D'EXPÉRIMENTATION

2.1 Processus d'affaires

Les processus d'affaires de la solution apportée dans le cadre de ce texte sont divisés en deux parties. La première expose les principes de gestion pour optimiser la planification de la réfection des infrastructures urbaines. La seconde se concentre sur le système de gestion lui-même qui produit à travers un certain automatisme les résultats attendus.

2.1.1 Principes de gestion

Les principes de gestion sont inspirés de l'approche australienne ainsi que celle avancée par les auteurs du Guide national des infrastructures où l'on adresse la problématique à travers quelques questions. Les cinq questions retenues sont énumérées ci-dessous (Consultik, 2000b) :

Que possédez-vous comme infrastructures urbaines?

La présence d'un inventaire complet des infrastructures constitue la fondation d'une démarche structurée en gestion des infrastructures. Cette étape est essentielle pour entreposer les données relevées lors des étapes subséquentes. La conception et le développement d'un système permettant d'exploiter efficacement les données descriptives et géométriques étaient des étapes cruciales à la réussite de l'expérimentation.

Quel est l'état individuel des réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie?

Tout gestionnaire aspire à une connaissance adéquate de l'état de ses réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie. Pour ce faire, une démarche structurée de collecte et de mise à jour régulière des données d'état s'avère essentielle dans le traitement des données et la livraison des résultats.

Quel est l'état intégré des réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie

Jusqu'à maintenant, l'état des infrastructures d'aqueduc, d'égouts et de voirie a toujours été évalué de façon individuelle, malgré leur proximité physique. Le regroupement de l'état de chaque réseau en un état intégré apporte une vision innovatrice et permet, par exemple, d'analyser un tronçon en ayant en tête l'état de l'ensemble des infrastructures présentes.

Quelle est la durée de vie restante?

Pour évaluer la durée de vie restante d'une infrastructure, la connaissance de son état actuel et de la durée de vie utile de sa famille est essentielle. Dans cette expérimentation, la durée de vie utile a été établie à partir des données disponibles à la Ville et non à partir de données théoriques, ce qui a permis d'obtenir des résultats qui tiennent compte des particularités du territoire.

Quels travaux allez-vous faire en premier?

Lors de la réalisation de travaux, il existe une grande interaction entre les réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie. Souvent, la réalisation de travaux sur une infrastructure souterraine implique l'excavation de la chaussée. L'analyse intégrée des réseaux présents permet de considérer ces interactions dans le plan directeur intégré.

2.1.2 Processus d'affaires du système

À propos du système, une sélection des fonctions appropriées pour représenter le processus d'affaires a été faite. Les fonctions adoptées suivent le processus présenté ci-dessous. Pour chacune des fonctions principales, représentées par des cercles bleus, une série d'intrants (inscrits au haut de chacun des cercles) définissent les informations requises au processus alors que les extrants (inscrits au bas de chacun des cercles) symbolisent les résultats attendus à chacune des étapes du processus (Lalonde et Curodeau, 1998b).

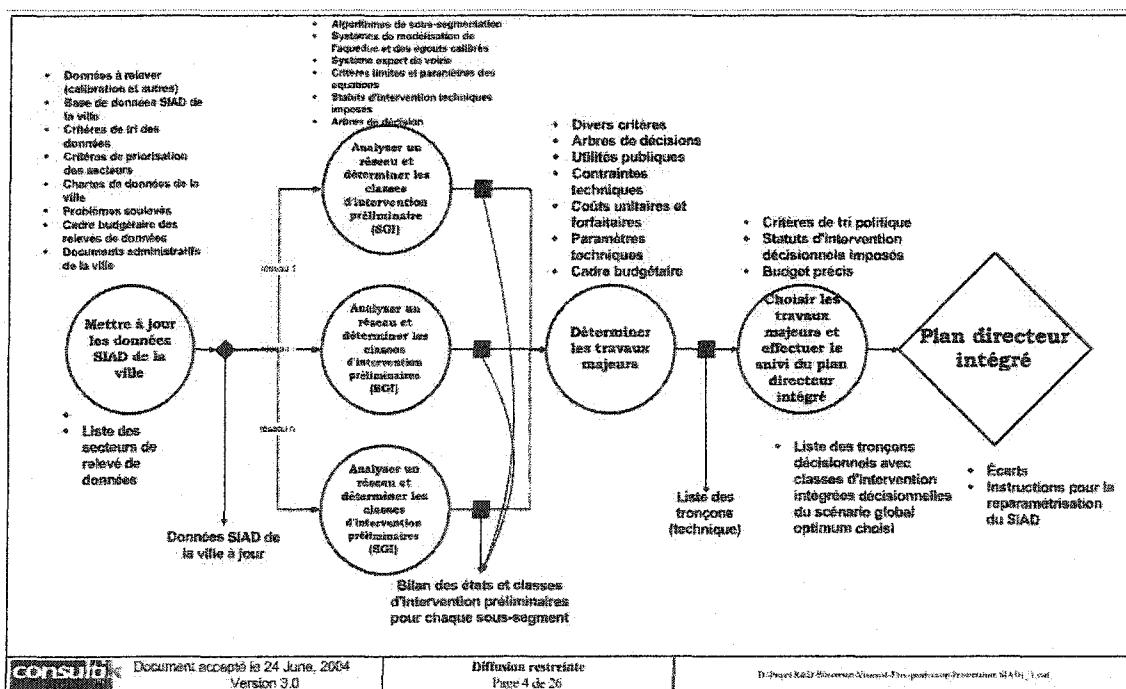


Figure 8 Processus d'élaboration de plan d'intervention
(source: Curodeau et Lalonde, 1998)

Le flux de production du SIAD est composé de quatre grandes fonctions et a comme extrant ultime le plan directeur intégré de réfection des réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie. Le plan directeur intégré dresse la liste priorisée des tronçons d'aqueduc, d'égouts et de voirie sur une période déterminée (généralement de 1 à 5 ans), avec les

années de réalisation, les statuts d'intervention, les classes d'intervention intégrées envisageables et les coûts. À titre informatif, tous les tronçons traités comportent les raisons de leur priorisation.

2.1.2.1 Mise à jour les données SIAD de la ville

La première fonction du système a pour objectif de maintenir à jour la base de données SIAD de la ville. Les résultats du SIAD sont, en effet, tributaires de la fiabilité et de la précision des données présentes dans la base de données SIAD de la ville. La première étape de cette fonction consiste donc à déterminer les données à relever, en fonction de critères tels que la précision des données et la date des derniers relevés. Cette étape est réalisée au moins une fois par année sur l'ensemble des données de la ville pour s'assurer que le plan directeur produit reflète bien la réalité.

La deuxième étape consiste à mettre à jour les données SIAD de la ville selon les instructions élaborées précédemment. L'échantillonnage des données relevées est réalisé pour s'assurer que ces dernières respectent les critères de précision que la ville s'est donnée.

2.1.2.2 Analyse d'un réseau et détermination des classes d'intervention envisageables

La deuxième fonction du système consiste à analyser chacun des réseaux et à déterminer les classes d'intervention des segments de ceux-ci en ne considérant qu'un seul réseau à la fois. Cela signifie que des analyses indépendantes doivent être effectuées pour chacun des réseaux.

Les trois réseaux analysés sont le réseau d'aqueduc, celui des égouts et la voirie. La mission d'un réseau d'aqueduc est de fournir de l'eau de qualité aux usagers, à une pression adéquate (adaptée aux besoins des citoyens et aux standards de protection des incendies), au plus faible coût possible. La mission des réseaux d'égouts est de transporter les eaux de ruissellement ou les eaux usées d'origine domestique, commerciale ou industrielle, de façon à ce qu'elles soient traitées et renvoyées dans

l'environnement, avec le moins de risques possible pour la santé publique et la sécurité, au plus faible coût possible. La mission du réseau de voirie est de permettre l'écoulement actuel et futur du transport des usagers de façon sécuritaire au meilleur coût et avec un niveau de confort acceptable.

Les segments représentent l'unité sur laquelle seront calculées toutes les classes d'intervention. La première étape de la fonction consiste à évaluer l'état des segments du réseau analysé. Le traitement pour arriver au bilan d'état se base sur un système de cotes et de sous-cotes découlant de données physiques et de données caractérisant l'état des infrastructures composant le réseau. Ce traitement est formé d'une série d'équations et de critères limites qui déterminent les statuts d'intervention (impératif, souhaitable, endroit à surveiller et intervention non requise). Le système renferme quatre grandes catégories de cotes, les mêmes pour chacun des réseaux :

- ❖ La cote d'intégrité physique (CIP) est évaluée au moyen de paramètres qui traduisent jusqu'à quel point l'importance des dégradations, actuelles et anticipées, justifie une intervention, parce qu'elles peuvent compromettre la capacité future d'une infrastructure à remplir sa mission. Robert Klusman expose les règles à suivre pour implanter un système de gestion de l'entretien du réseau d'aqueduc, et il mentionne : «*Systems or areas of high priority should include those with high failure rates or recurring problems and those that have a high safety environmental or cost impact*». Il ajoute plus loin : «*[...] mechanical integrity is a priority in all situations where potential safety and environmental impacts are significant*» (Klusman, 1995).
- ❖ La cote d'intégrité fonctionnelle (CIF) est évaluée, pour sa part, au moyen de paramètres qui traduisent la capacité actuelle des infrastructures à remplir leur mission. Pour les réseaux d'aqueduc et d'égouts, cela se traduit par la capacité hydraulique (système de modélisation) des réseaux et, pour la voirie, cela se traduit par le confort au roulement et par la fluidité de la circulation.
- ❖ La cote sur les infrastructures liées (CIL) est une mesure utilisée par le système permettant de considérer l'état des infrastructures liées afin de prioriser, dans le

- cas où deux segments de conduites seraient dans un état similaire, celui auquel sont liées les entités les plus dégradées.
- ❖ La cote d'impact socio-économique (CI) est une mesure de l'étendue des conséquences qu'une négligence d'assurer l'intégrité physique ou fonctionnelle pourrait avoir sur les citoyens à l'occasion de travaux d'urgence.

À la fin du traitement de l'ensemble des cotes et sous-cotes, un algorithme les amalgame toutes pour produire une cote globale d'état. L'approche généralement admise, par exemple par Ralph Haas, consiste à faire un amalgame de toutes les variables de décision issues du niveau «réseau», sous la forme d'une cote globale (Haas, 1994). Cet indice offre l'avantage d'être souple d'utilisation. L'ensemble des cotes, des sous-cotes correspondantes et des données requises sera présenté à la section intitulée « Construction du cadre opératoire ».

La deuxième étape consiste à déterminer les classes d'intervention envisageables pour les segments de chacun des réseaux. Ces classes d'intervention sont déterminées au moyen d'un arbre de décision qui considère les différentes cotes d'état du réseau analysé, la configuration physique de celui-ci et certaines contraintes telles que les obstacles. La troisième étape qui peut s'effectuer parallèlement à la deuxième consiste à accumuler des données dans le système afin d'élaborer des courbes de dégradation pratiques de tous les segments des réseaux.

2.1.2.3 Déterminer les travaux majeurs

La troisième fonction du système consiste à intégrer les résultats de chacun des SGI afin d'évaluer globalement l'état combiné des réseaux et de déterminer des statuts et classes d'intervention qui considèrent l'interaction mutuelle de chacun de ceux-ci.

La première étape de la fonction consiste à créer des segments intégrés en rattachant à un segment de base, le plus souvent la voirie, les segments des autres réseaux se trouvant à l'intérieur de la zone d'influence du réseau de base. Une fois le segment

intégré créé, il suffit d'établir les interactions spatiales déjà existantes entre chacune des conduites.

La deuxième étape consiste à bâtir et à envoyer des requêtes, aux systèmes experts et aux systèmes de modélisation, qui statuent sur les endroits les plus prioritaires à corriger. Ces requêtes sont élaborées en considérant l'état physique et fonctionnel de tous les réseaux. La réponse des systèmes experts et de modélisation est que les scénarios d'intervention peuvent établir les meilleures solutions possibles pour chacun des réseaux respectifs. Les systèmes de modélisation règlent les problèmes fonctionnels des requêtes alors que les systèmes experts raffinent les classes d'intervention du système.

Tous les scénarios d'intervention sont regroupés à l'étape suivante en scénarios globaux qui considèrent, de façon intégrée, les interventions relatives à chacun des SGI. Les scénarios globaux ayant les meilleurs rapports coûts/bénéfices sont déterminés : ce sont les scénarios globaux optima. Les segments intégrés relatifs aux scénarios globaux optimaux sont priorisés de nouveau à l'étape subséquente en fonction des nouvelles interventions créées dans ces scénarios. L'étape finale de la fonction consiste à regrouper en tronçons les segments intégrés contigus ayant des statuts et classes d'intervention semblables, et ce, afin d'alléger la représentation et la transmission des listes de résultats entre les intervenants.

2.1.2.4 Choix des travaux majeurs et suivi du plan directeur intégré

La quatrième fonction consiste à choisir les travaux majeurs de réfection en ajoutant dans l'analyse les considérations non techniques, à produire le plan directeur intégré et à en faire le suivi. Cette dernière fonction laisse la latitude aux gestionnaires de proposer des modifications selon des critères de tri politique et des budgets précis.

Les deux premières étapes de cette fonction sont relatives aux choix que doivent faire les gestionnaires et à la production du plan directeur. Comme ces étapes ne relèvent pas de la technique, il est inutile d'élaborer plus à leur sujet.

La troisième étape est cependant très intéressante en ce sens qu'elle donne la possibilité d'améliorer la précision des résultats du système en permettant de faire le suivi du plan directeur intégré. C'est à cette étape que sont évaluées les différences entre les travaux réalisés et ceux prévus dans le plan directeur. Comme ces écarts permettent la reparamétrisation éclairée du système, le suivi du plan directeur est un outil très intéressant dans une optique d'amélioration continue.

2.1.3 Environnement type

L'environnement type d'intégration du SIAD est une composante d'un système, lequel est constitué de quatre logiciels - gestion des requêtes (RMS), gestion des opérations (TMS), production de plans directeurs (SIAD) - ainsi que d'une base de données des infrastructures (AMS). Les systèmes de modélisation, les systèmes experts et les SIG ont un lien avec la base de données des infrastructures (Bergeron et Curodeau, 1998).

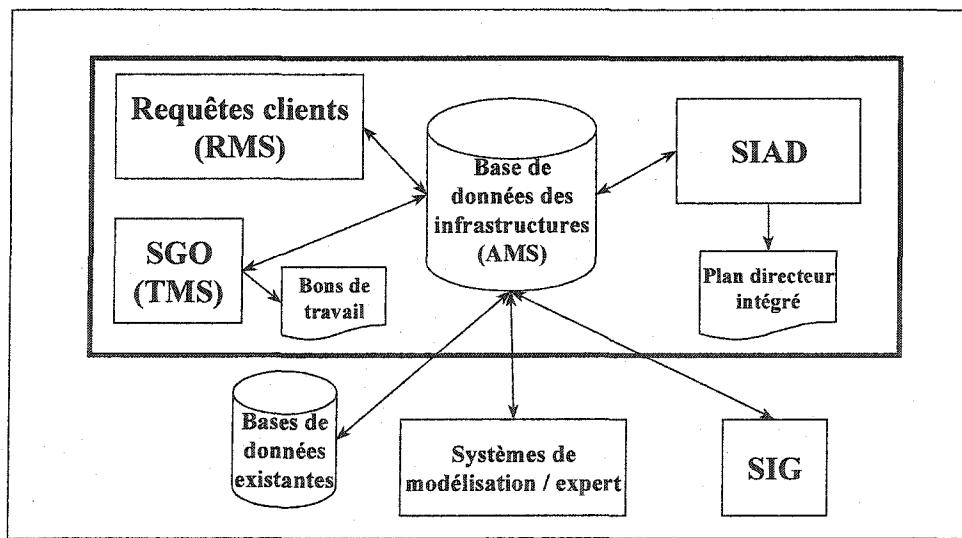


Figure 9 . . . Architecture globale
(source : Bergeron et Curodeau, 1998)

D'un point de vue technologique, voici un schéma des composantes.

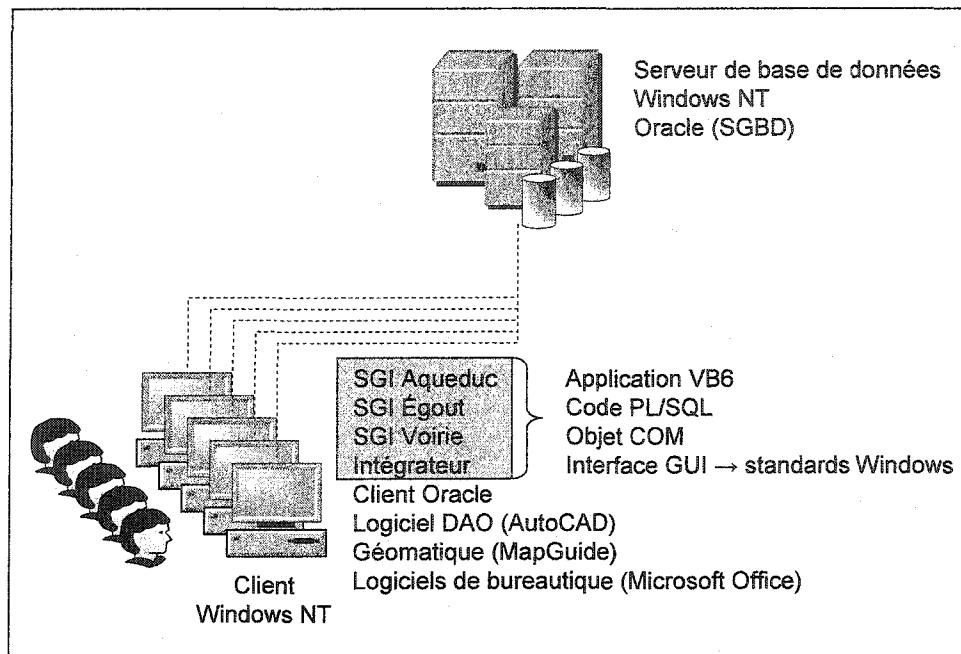


Figure 10 Architecture technologique

Le système est une application client/serveur qui exploite les avantages du système de gestion de base de données Oracle et d'un environnement de développement répandu, soit Microsoft. Un serveur de base de données centralise l'information de la base de connaissances du système expert ainsi que les données d'inventaires sur les infrastructures. L'interface client présente un environnement convivial sur les bases du standard Windows. L'exploitation des résultats du système se fait par l'entremise de logiciels de bureautique conventionnels (Microsoft Office) ainsi que par des logiciels de DAO et de géomatique.

2.1.4 Critères de conception

Dans l'élaboration de ce système, des critères de conception doivent être respectés :

- ❖ laisser une marge à l'utilisateur pour qu'il puisse choisir lui-même les limites des critères d'évaluation. Ainsi, les résultats refléteront la réalité de l'organisation;

- ❖ déterminer où et quand dans le processus on permettra à l'utilisateur d'imposer un statut d'intervention et un type d'intervention;
- ❖ offrir une liste de choix à l'utilisateur pour que les informations entrées soient uniformes;
- ❖ avoir un bon niveau de personnalisation permettant le plus de flexibilité possible aux systèmes tout en s'assurant que l'utilisateur est capable de comprendre l'impact de ses choix;
- ❖ la définition des cotes n'est pas modifiable (en terme d'équations) pour assurer la stabilité du système;
- ❖ le système doit avoir effectué un bilan de l'état actuel afin d'être en mesure d'effectuer un plan à long terme;
- ❖ le système doit pouvoir fonctionner sans être relié à un système expert. À ce moment, il faut prévoir une saisie manuelle ou un transfert automatisé des données essentielles;
- ❖ le système doit permettre de regrouper les informations de l'ensemble des actifs d'importance à l'intérieur d'une unité d'analyse commune;
- ❖ le système doit permettre, pour les organisations ayant une représentation géométrique adéquate et ayant le désir de l'exploiter, de produire un plan considérant les interactions spatiales entre les actifs.

Pour les deux derniers critères de conception, puisque que ce sont des concepts plutôt avant-gardistes, voici une explication des avancements proposés.

2.1.4.1 Segment intégré

Le segment intégré est créé en choisissant un réseau de base et en établissant une largeur tributaire. Dans la plupart des cas, les segments de voirie sont choisis comme base de la segmentation intégrée et la largeur de la plate-forme de voirie comme largeur tributaire (la largeur de l'emprise ou toute autre largeur pourrait également être utilisée).

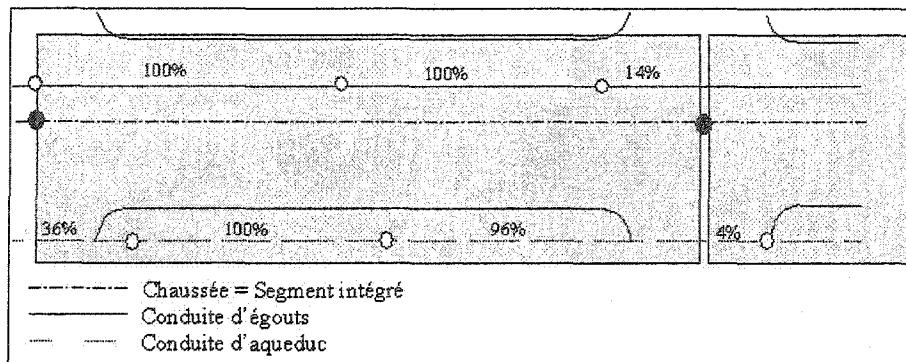


Figure 11 Représentation d'un segment intégré

La largeur tributaire sert à déterminer quelles infrastructures font partie du segment intégré. Dans les cas où il n'y a pas de voirie, les segments d'aqueduc ou d'égouts sont utilisés comme réseau base et la largeur de la servitude (ou toute autre largeur) comme largeur tributaire (Prince, 1998b).

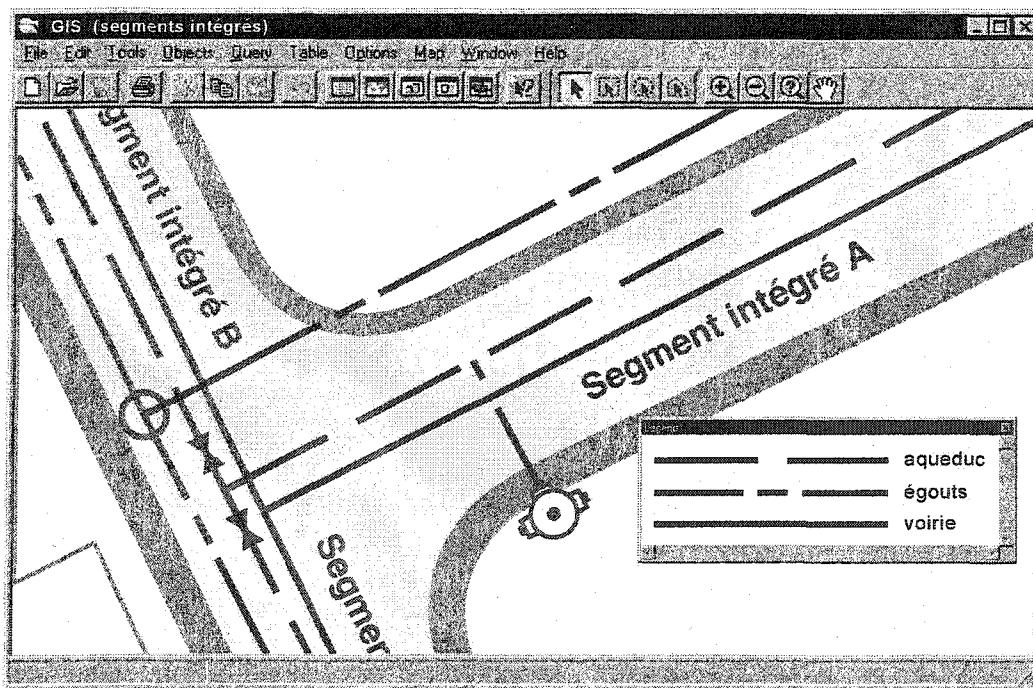


Figure 12 Regroupement des segments en segment intégré
(source : Pelletier, Olivier, Lalonde et Prince, 2001)

2.1.4.2 **Contraintes spatiales**

Sous les rues municipales, nous retrouvons plusieurs infrastructures souterraines, telles que les conduites d'aqueduc et d'égouts, et les utilités publiques (H-Q, Bell, Gaz Métropolitain, etc.). Ces infrastructures sont situées à différentes distances verticales (profondeur) et horizontales les unes des autres. Selon la configuration des infrastructures présentes, il arrive, dans certains cas, qu'une infrastructure en bon état soit présente à l'intérieur de la zone d'excavation d'une infrastructure problématique et doive aussi être excavée lors du remplacement de l'infrastructure problématique. Cette information est très importante, car elle influence énormément les coûts de réalisation des travaux. Cette section a pour objectif de décrire les différents cas à analyser et l'information que nous désirons obtenir pour considérer l'interaction spatiale des infrastructures dans le SIAD. L'évaluation des contraintes spatiales devra être effectuée pour chacune des conduites ou combinaison de conduites présentes à un endroit déterminé (frontière d'un segment). L'information à fournir est d'indiquer si la conduite possède une interaction avec d'autres infrastructures. Dans un tel cas, on doit indiquer avec quelle(s) conduite(s) et de déterminer la largeur de la chaussée à excaver. L'évaluation des contraintes spatiales est effectuée en deux étapes principales. La première étape consiste à évaluer la position relative (distances verticales et horizontales) des autres infrastructures présentes par rapport à la conduite évaluée. La deuxième étape consiste à évaluer, selon la profondeur de la conduite étudiée et les pentes d'excavation théoriques, les distances horizontales et verticales requises par l'excavation. La comparaison entre les distances réelles séparant les conduites et les distances requises pour l'excavation permettra de déterminer si une interaction spatiale est présente (Prince, 1998a).

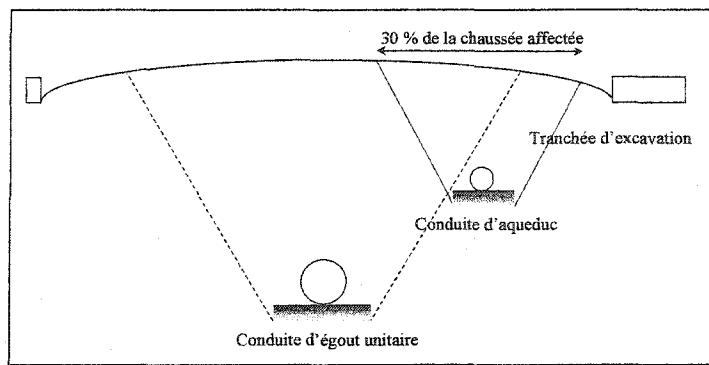


Figure 13 Règles d'intégration, contraintes spatiales
(source: Lalonde et Pelletier, 1999)

À partir de ces critères de conception et du processus d'affaires du système, nous avons développé plusieurs modules pour accomplir les tâches requises (Lalonde et Pelletier, 1999).

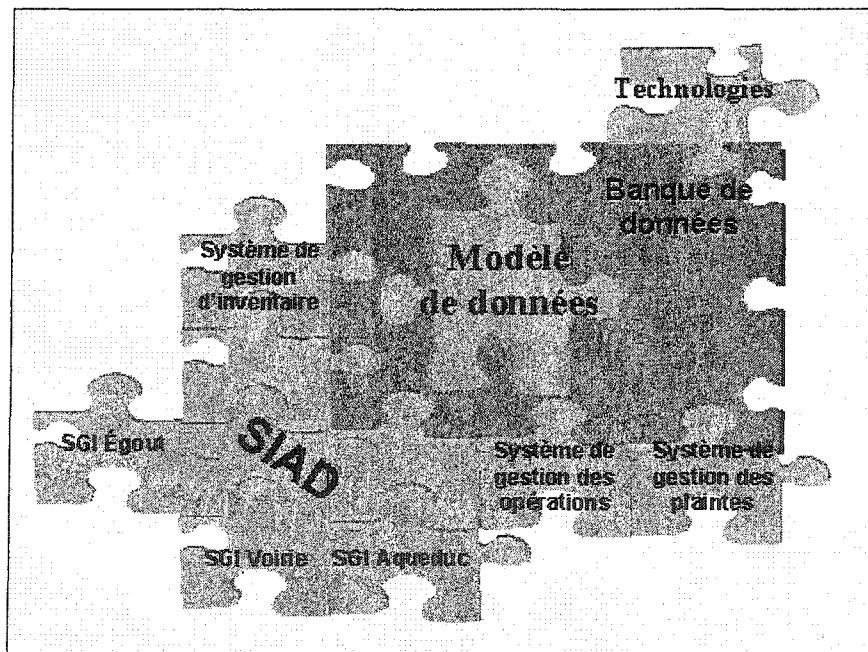


Figure 14 Système global de gestion des infrastructures
(source : Lalonde et Pelletier, 1999)

Le système développé dans le cadre de l'expérimentation réunit quatre (4) modules principaux : trois (3) SGI – systèmes de gestion des infrastructures et l'intégrateur. Les trois (3) SGI permettent d'évaluer, de façon qualitative, l'état d'un réseau d'aqueduc, d'égouts ou de voirie. Cette évaluation se base sur les quatre aspects principaux énoncés à la section intitulée « Analyse d'un réseau et détermination des classes d'intervention envisageables ». La hiérarchie du système de cotes se représente de la façon suivante :

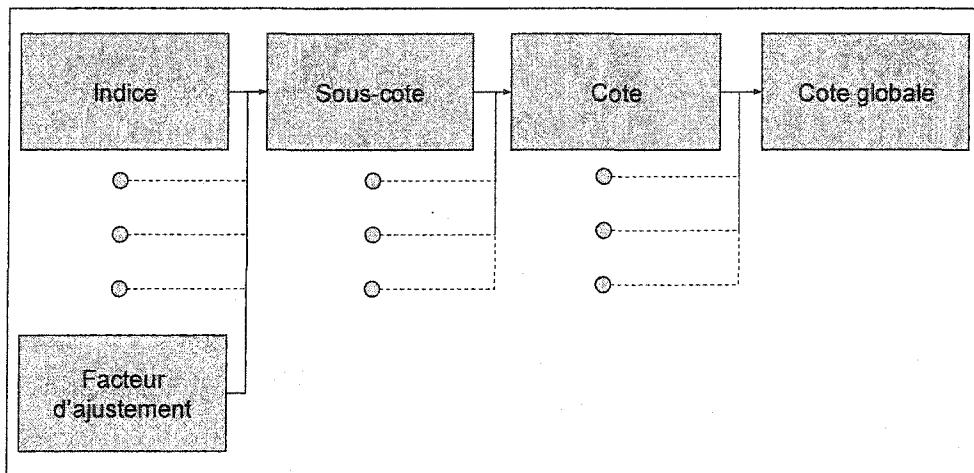


Figure 15 Hiérarchie de la structure de cotes

L'application de ce concept aux réseaux étudiés s'exprime dans les figures présentées à l'annexe 2.

Dans le cadre du projet en question, des algorithmes de calcul ont été développés afin de considérer chacun de ces aspects et en retirer une cote globale pour chacun des réseaux mentionnés. Un arbre de décision déterminant la classe d'intervention optimisée selon l'état physique de l'infrastructure a également été constitué. Dans la conception du système, ces algorithmes de calcul demeurent paramétrables, c'est-à-dire constitués de paramètres flexibles, ce qui permet d'adapter le système à la philosophie de réfection de chaque organisation.

Ce système permet d'intégrer directement dans le processus d'évaluation de l'état de l'infrastructure, et ultimement dans le processus décisionnel, les résultats provenant de systèmes experts (Systèmes de gestion de chaussées, système de gestion d'inspection d'égouts, etc.) ou de systèmes complémentaires (modèles hydrauliques, modèles de trafic, etc.). Pour les chaussées, il existe sur le marché des systèmes experts complets qui évaluent l'ensemble des aspects de la voirie. Si l'organisation possède un tel système, les résultats sortant de ce dernier sont intégrés directement dans le processus décisionnel. Dans les domaines de l'aqueduc et de l'égout, les systèmes en place sont moins complets et se concentrent plutôt sur un aspect particulier de l'évaluation de l'infrastructure. Les modules du SIAD, portant sur l'aqueduc et l'égout, rallient alors les conclusions ou les données intermédiaires produites par ces différents systèmes complémentaires pour rendre une cote globale d'état et une classe d'intervention.

Tableau V

Systèmes complémentaires mis à contribution

	Physique	Fonctionnel	Infrastructures liées	Géomatique
Aqueduc	-	AquaCAD	Système de gestion des bornes incendie et des valves	
Égouts	Système de gestion des conduites et des téléinspections	XP-SWMM32	Système de gestion des regards	
Voirie	Romsys, Système de gestion des chaussées	-	Romsys, Système de gestion des chaussées	Accesig, MapInfo, AutoCAD

(source : Pelletier et al., 2001)

Le quatrième module, l'intégrateur, est celui qui apporte une valeur ajoutée au système d'aide à la décision. L'intégrateur permet de rassembler les résultats obtenus pour chacun des réseaux individuellement et de mettre en évidence, de façon intégrée, l'intervention optimale à effectuer en tenant compte de différentes règles.

L'intégrateur utilise le segment intégré comme unité commune d'analyse. Pour les fins de l'expérimentation, certaines règles de segmentation par réseau ont été définies et un travail consistant à regrouper les segments des différents réseaux a été effectué. Aussi, une analyse géométrique a été nécessaire puisque les frontières de l'aqueduc et de l'égout n'étaient pas les mêmes que celles de la chaussée.

Une évaluation de l'état intégré est pratiquée pour chacun des segments intégrés. Il s'agit d'un calcul de l'état à partir des résultats obtenus dans l'analyse individuelle de chacun des réseaux. La figure suivante représente la méthode d'agrégation.

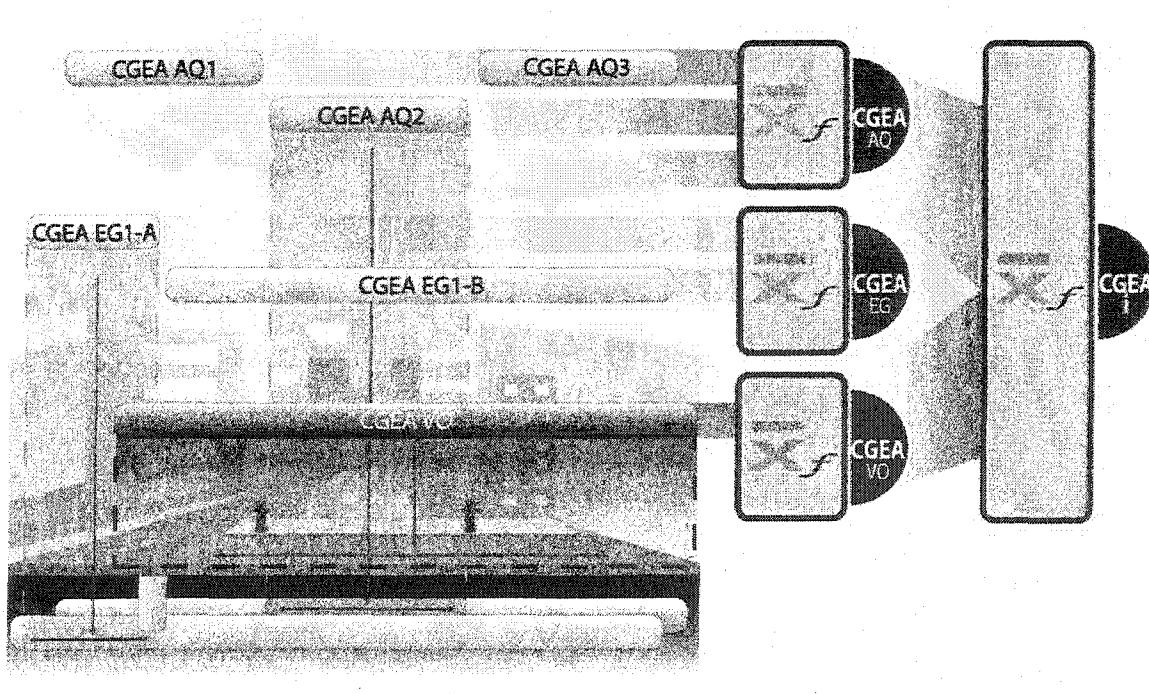


Figure 16 Processus d'évaluation de l'état intégré

Dans le processus d'analyse, une certaine place est laissée aux systèmes complémentaires et systèmes experts qui apportent différentes alternatives de solution basées sur les connaissances d'état physique et fonctionnel de l'ensemble des réseaux. Leur contribution est fortement souhaitable puisque les SGI ne peuvent identifier de solution pour corriger les problèmes d'ordre fonctionnel. Par la suite, les alternatives de chacun des réseaux sont combinées afin de former des scénarios globaux d'intervention. Ces scénarios globaux sont autant de réponses aux problèmes intégrés visant l'amélioration de l'ensemble des réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie.

En effet, une fois l'intervention identifiée pour chacun des réseaux séparément, l'algorithme est actionné afin de déterminer la classe d'intervention intégrée optimisée. Les règles qui régissent ces choix sont basées sur des paramètres de conditions d'intervention envisagées, lesquels sont nuancés par une analyse des contraintes spatiales.

Prenons l'exemple illustré à la Figure 7. Sachant la chaussée et la conduite d'égouts en excellente condition et une conduite d'aqueduc dont l'état des parois provoque des problèmes d'étanchéité et d'eau sale, les règles d'intégration nous suggéreraient une réfection sans tranchée avec revêtement intérieur de la conduite d'aqueduc. Si toutefois la chaussée avait été dans un état de dégradation avancée, les contraintes spatiales auraient fait en sorte qu'une réfection avec tranchée de la conduite d'aqueduc, accompagnée d'une réhabilitation de la chaussée par pulvérisation, aurait été préférable.

Le calcul du bénéfice, conséquence des interventions d'amélioration suggérées dans les scénarios, est amorcé par un algorithme qui considère l'état actuel et l'état prévisible de l'infrastructure. Le bénéfice global de l'ensemble des réseaux, associé au coût des interventions, permettra en bout de ligne de sélectionner de façon optimale le scénario global à privilégier. De plus, à l'intérieur même du scénario, les segments (ou projets) seront ordonnancés selon des critères de tris définis. Le gestionnaire peut ensuite changer cet ordre.

Enfin, l'élaboration de différents scénarios budgétaires permettra de constituer une ébauche de plan directeur adapté aux visées organisationnelles. De plus, le processus permet en tout temps de vérifier l'origine du besoin d'intervention par forage de données. La figure suivante démontre les possibilités qu'offre le système.

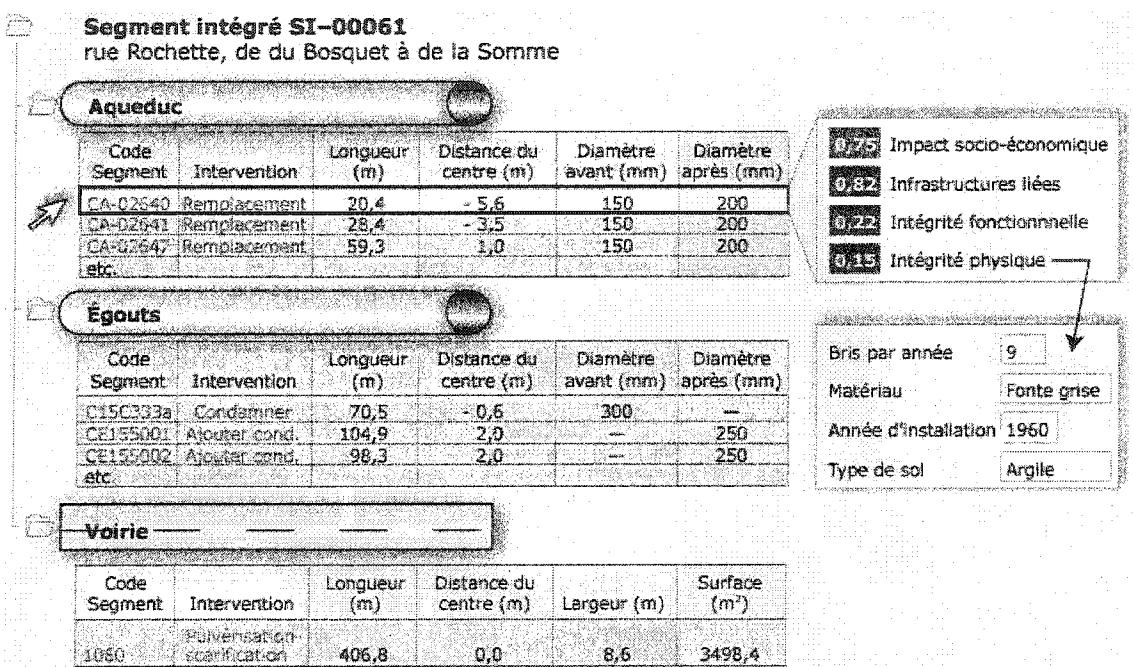


Figure 17 Niveaux de forage de données disponibles pour justifier l'intervention

2.2 Méthodologie d'expérimentation

Nous appliquons une démarche se basant sur l'expérimentation, ce qui implique que toutes les hypothèses sont vérifiées sur le terrain. Le processus de recherche que nous appliquons comporte généralement sept étapes (Mace, 1988).

- ❖ **Étape 1 - Formuler le problème.** Permet d'élaborer la ou les questions pertinentes relativement à un sujet d'étude et de construire cet objet en donnant un sens ou en intégrant des faits qui, pris en eux-mêmes ou considérés séparément, n'ont pas vraiment de signification (Mace, 1988).

- ❖ Étape 2 - Poser l'hypothèse. « ...est à la fois le résultat de la conceptualisation et le point de départ de l'expérimentation ou de la vérification... »(Mace, 1988).
- ❖ Étape 3 - Construire le cadre opératoire. « est le lien nécessaire entre l'hypothèse et le travail empirique d'analyse. Son rôle consiste à spécifier ce qu'il faudra analyser précisément pour vérifier l'hypothèse » (Mace, 1988).
- ❖ Étape 4 - Choisir la stratégie de vérification.

« [...] est la manière de déployer des ressources pour appliquer le plus efficacement possible le cadre opératoire. [...] c'est la nature du problème à traiter qui détermine la stratégie de vérification la plus pertinente et la plus efficace. » (Mace, 1988).
- ❖ Étape 5 - Choisir la ou les techniques de collecte de l'information. Il est fait en se basant sur le cadre opératoire et la stratégie de vérification pour établir la nature de l'information à recueillir (Mace, 1988).
- ❖ Étape 6 -Choisir la ou les techniques d'analyse des données (traiter les données).

« Elle comprend deux étapes principales : la classification de l'information et l'analyse proprement dite des données. [...] Plusieurs instruments ou techniques peuvent être utilisés pour analyser et interpréter les données dont l'analyse qualitative, l'analyse de contenu, l'analyse statistique et la simulation sur ordinateur. » (Mace, 1988).
- ❖ Étape 7 - Présenter la démarche concrète de vérification de l'hypothèse ou conclusion. La conclusion a pour but de confronter l'hypothèse de départ avec les résultats obtenus et de proposer de nouvelles pistes de recherche (Mace, 1988).

Chacune des étapes de l'expérimentation, exceptée la formulation du problème énoncée précédemment, sera exposée avec la démarche suivie (Prince, Curodeau et Legras, 1998).

2.2.1 Hypothèse de départ

Pour procéder à l'évaluation des concepts dans un environnement réel, il a fallu établir certaines hypothèses de départ :

- ❖ les données recueillies sont suffisantes pour démontrer les principes et procéder aux calculs des cotes;
- ❖ l'auscultation des réseaux d'aqueduc, d'égouts et de chaussées a été effectuée par des experts. La qualité des diagnostics n'est pas remise en cause et a été vérifiée par un processus rigoureux de contrôle de la qualité.

2.2.2 Construction du cadre opératoire

Le système expert à développer est appelé un SIAD (Système Intégré d'Aide à la Décision). Le cadre opératoire de départ est le suivant (Prince et al., 1998) :

- ❖ le système doit être alimenté par les données strictement nécessaires à la rencontre de la mission des réseaux et assurer les résultats les plus fiables possibles;
- ❖ tous les réseaux ont un poids décisionnel égal dans l'intégration de ceux-ci (le technique est incapable de dire lequel est le plus important);
- ❖ tous les réseaux doivent posséder le même nombre de propriétés (afin d'intégrer adéquatement les données);
- ❖ une segmentation statique commune à tous les réseaux peut donner des résultats probants;
- ❖ les interventions et les coûts peuvent être entrés manuellement afin d'assurer la précision des résultats;
- ❖ les contraintes techniques doivent être intégrées dans le système afin d'assurer des résultats satisfaisants;

Misra et al. (2003) reprennent : La structure d'intégration des réseaux du prototype doit être utilisée avec le système de cotation, le système de statuts imposés, les critères limites (selon la classification fonctionnelle) et les équations paramétrables;

- ❖ les trois réseaux doivent être segmentés selon leurs caractéristiques propres;
- ❖ les données caractérisant l'état des réseaux doivent être adressées spatialement aux segments;
- ❖ les infrastructures liées doivent constituer une propriété à elles seules;
- ❖ les systèmes experts de modélisation des réseaux d'aqueduc et d'égouts (ou à tout le moins leurs résultats) doivent absolument être incorporés dans le système afin d'assurer des résultats satisfaisants pour la cote d'intégrité fonctionnelle de ces réseaux;
- ❖ des arbres de décision doivent être incorporés dans le système pour déterminer les classes d'intervention envisageables de chaque réseau, pour établir les dépendances spatiales entre les réseaux, pour prioriser de façon intégrée les interventions sur tous les réseaux, et pour générer des estimés valables de coûts.

2.2.2.1 Détermination des données nécessaires

De nombreuses rencontres ont permis d'identifier, dans un premier temps, les données à inclure dans le processus d'évaluation. Ces données nécessaires à la prise de décision sont exposées dans la section qui suit (Prince et al., 1998).

2.2.2.1.1 Priorité des propriétés des réseaux

Une analyse exhaustive fut effectuée en regard des trois réseaux. Pour chacun de ceux-ci, les propriétés ont été priorisées en fonction de l'importance de ces dernières en regard de l'atteinte de la mission des réseaux. Ainsi, l'intégrité physique a été mise en tête de liste, car des infrastructures, dont l'état physique est altéré, ne rencontrent plus la mission pour laquelle elles ont été mises en place. Une intégrité physique

déficiente occasionne nécessairement une intégrité fonctionnelle déficiente à court ou moyen terme.

L'intégrité fonctionnelle a été mise au deuxième rang, car une intégrité fonctionnelle déficiente n'entraîne pas nécessairement une intégrité physique déficiente. Elle est cependant très importante, car la déficience fonctionnelle d'une infrastructure fait en sorte que la mission de l'infrastructure n'est pas respectée.

L'intégrité physique des infrastructures liées a été mise au troisième rang, car une déficience de cette propriété n'a que des conséquences locales en regard du respect de leur mission.

Finalement, les impacts socio-économiques ont été placés au dernier rang, car ils n'ont que des impacts secondaires en regard du respect de la mission du réseau d'aqueduc. Ils sont cependant très importants, car ils peuvent avoir un impact significatif dans la mise en priorité des segments ayant des cotes d'intégrité physique et fonctionnelle semblables.

Il est important de souligner que les trois réseaux possèdent le même nombre de propriétés afin d'intégrer adéquatement leurs données respectives (hypothèse de départ). En outre, selon l'avancement actuel des connaissances, il était impossible de déterminer l'importance relative de chacun de ceux-ci.

La liste des propriétés tenue en compte dans l'évaluation de l'état des réseaux est présentée à l'annexe 1 (Curodeau, 1999). Un exemple des attributs considérés est présenté dans le tableau qui suit.

Tableau VI

Exemple non exhaustif de l'élément « conduite d'égouts »

Données	Description	Statut	Application
Type	Type de conduite : domestique, pluviale, unitaire, pseudo-séparative	Nécessaire	Intégrité physique et capacité hydraulique
Diamètre	200, 250, 300, 350, 400 mm, etc.	Nécessaire	Intégrité physique et capacité hydraulique
Matériau	Béton, béton armé, pvc, brique	Nécessaire	Intégrité physique et capacité hydraulique

(source : Lalonde et Pelletier, 1999)

2.2.2.2 Analyse des données

Une fois la liste des données établie, nous avons élaboré une structure d'analyse des données existantes. L'objectif ici était de connaître de façon précise le potentiel d'utilisation de chacune des sources de données et aussi de déterminer les données manquantes qui devront ultérieurement faire partie d'un des lots de relevés. Lors de l'analyse, les points suivants ont été évalués pour chaque source de données (Lalonde et Pelletier, 1999) :

- ❖ Présence à la Ville. Indiquer si la donnée est présente.
- ❖ Description. Décrire la donnée afin de s'assurer qu'elle correspond bien à la donnée de base préétablie.
- ❖ Format. Spécifier le format de la source de données afin de définir la méthode à utiliser lors de l'intégration des données (papier, .mdb, .dwg, fichier ASCII, mémoire des gens, etc.).
- ❖ Fiabilité. Évaluer le niveau de fiabilité de la source de données pour évaluer la pertinence de la récupérer (0 % à 100 %).

- ❖ Précision. Évaluer le niveau de précision de la source de données pour évaluer la pertinence de la récupérer (+- 5mm, +- 2psi, etc.).
- ❖ Étendue. Évaluer si la source de données couvre l'ensemble du territoire ou si le territoire n'est couvert que partiellement ce qui implique des relevés complémentaires.
- ❖ Potentiel d'utilisation. Considérant l'ensemble des éléments analysés, porter un jugement sur le potentiel d'utilisation de la source de données.
- ❖ Personnes ressources. Responsable de la mise à jour de la source de données en question.

Le tableau qui suit présente un échantillon de ce que l'analyse peut représenter.

Tableau VII

Exemple d'analyse portant sur les conduites d'égouts

Données	Description	Format	Fiabilité	Précision	Étendu	Potentiel
Type	Type de conduite : domestique, pluviale, unitaire, pseudo-séparative	Numérique (.mdb)	90 %	n/a	100 %	Élevé
Diamètre	200, 250, 300, 350 mm, etc.	Numérique (.mdb)	90 %	n/a	90 %	Élevé
Matériau	Béton, béton armé, pvc, brique	Numérique (.mdb)	90 %	n/a	85 %	Élevé

(source : Lalonde et Pelletier, 1999)

À partir de ce moment, nous avons un portait global et précis des données disponibles à la ville ainsi que des données manquantes qui devront faire partie d'un lot de relevés. Comme les sommes pour le relevé de l'ensemble des données manquantes ne sont pas toujours disponibles, et comme il n'est pas nécessairement souhaitable de les relever en totalité, une approche visant à cibler les secteurs problématiques s'avère fort intéressante. Cette approche vise à optimiser et même, dans certain cas, à réduire les

coûts de relevés de données. Il ne faut pas oublier que les données ne sont pas une fin en soi et que l'objectif ultime demeure la production d'un plan directeur intégré.

À titre d'exemple, les points à analyser lors de la détermination de secteurs problématiques d'un réseau d'égouts sont : l'année de construction, le type de matériau utilisé, l'historique des interventions exécutées en urgence et l'historique des plaintes de refoulement.

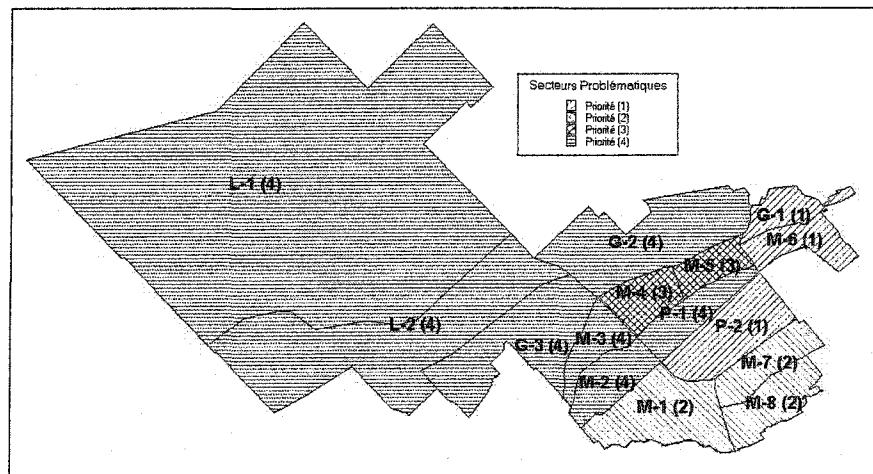


Figure 18 Secteur problématique d'égouts de la Ville de Sainte-Foy
(source : Lalonde et Pelletier, 1999)

On appelle secteur problématique d'égouts, un secteur d'égouts regroupant des conduites où la probabilité que des travaux majeurs soient effectués est forte.

2.2.2.3 Planification du chargement des données

Si les activités d'analyse des données n'ont pas été complétées, le travail de planification du chargement des données ne peut être fait adéquatement. À ce stade, les besoins en terme de données sont réellement connus, donc :

- ❖ connaissant les données existantes à récupérer, la méthode de transfert ou de conversion appropriée peut être choisie;

- ❖ connaissant les données manquantes et les secteurs problématiques, la méthode ainsi que les appareils de relevés peuvent être choisis et le secteur touché peut être circonscrit;
- ❖ connaissant la nature et la complexité des relevés, le mode de réalisation (en régie ou à contrat) peut être déterminé;
- ❖ ayant déterminé de façon précise les relevés à effectuer, des évaluations budgétaires précises peuvent être faites.

2.2.2.4 Relevé des données

La planification du chargement des données étant faite, les travaux de relevés peuvent alors commencer. Ainsi, des mandats seront confiés à l'interne et auprès de certaines entreprises spécialisées.

Tableau VIII

Exemple des relevés et activités complémentaires portant sur les réseaux d'égouts

Égouts	
Description	Étendue
• Simulation hydraulique des réseaux d'égouts	Ensemble des réseaux d'égouts pluviaux et combinés
• Télémaintenance de conduites d'égouts	110 km de conduites situées à l'intérieur des secteurs problématiques de priorité 1 et 2
• Transfert des données existantes à la ville ayant été identifiées comme potentiellement utilisables	Ensemble du réseau appartenant à la ville
• Récupération des inspections télévisées réalisées avant 1999	75 km, c'est-à-dire les inspections réalisées en 1994, 1995, 1996, 1997 et 1998
• Structuration des données géométriques	Ensemble du réseau public et privé

(source : Lalonde et Pelletier, 1999)

2.2.3 Choix de la stratégie de vérification

La stratégie de vérification a consisté à développer un prototype informatique sous la forme d'un chiffrier afin de valider le cadre opérationnel. Le but du prototype était d'effectuer un plan directeur intégré de réfection des infrastructures, d'aqueduc, d'égouts et de voirie avec un jeu de données restreint. Les données pour expérimenter le prototype au départ furent des données générées artificiellement en prenant soin de couvrir le plus grand nombre de cas possible. Un exemple du chiffrier est présenté à la figure ci-dessous.

Figure 19. Prototype Excel des algorithmes

La seconde ronde de vérification, celle-ci basée sur l'utilisation de l'outil développé à partir du prototype, a permis de poursuivre le processus. Une validation exhaustive des résultats de l'outil est en effet primordiale pour juger de sa fiabilité et pour déterminer

les données strictement essentielles au système. À cet égard, la démarche de vérification suivante a été montée. Elle se divise en deux parties. La première permet de vérifier globalement la réponse du système aux attentes des utilisateurs. Or, une présentation des résultats sous format cartographique est faite. Ainsi, on réalise une validation de premier niveau. Ensuite, pour certains cas plus litigieux, une vérification sur le terrain est faite. Il s'agit, à ce moment, d'une validation de deuxième niveau.

2.2.4 Choix des techniques de collecte de l'information

La collecte de l'information a été de confronter les résultats du prototype avec la réalité. Les techniques de vérification des résultats qui ont été privilégiées ont été les suivantes (Prince et al., 1998) :

- ❖ observation participante avec les experts techniques de la ville concernée;
- ❖ entrevue avec les experts techniques de la ville concernée.

Des extraits des informations recueillies peuvent être consultés aux annexes 4, 5, 6 et 7 (Pelletier et al., 2001).

2.2.5 Choix des techniques d'analyse des données

L'analyse des données fut effectuée en utilisant les techniques suivantes (Prince et al., 1998) :

- ❖ analyse statistique des résultats;
- ❖ analyse du contenu des résultats;
- ❖ analyse qualitative.

Il s'agit, en fait, d'évaluer les écarts perceptibles entre les résultats attendus et les résultats obtenus. Cette information est aussi disponible à la section 3.2 et en détail à l'annexe 8.

2.2.6 Démarche de validation de l'hypothèse

La vérification des écarts entre les résultats attendus et les résultats obtenus permet de valider les hypothèses de départ. Ainsi, la démarche de validation de l'hypothèse a consisté en une observation du nombre d'itérations requises à l'adéquation des résultats ajoutée d'une analyse de la sensibilité.

CHAPITRE 3

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET OBSERVATIONS

3.1 Présentation du jeu de données

Le jeu de données utilisé pour l'expérimentation du SIAD est celui obtenu lors d'un projet avec la Ville de Sainte-Foy. Toutes les informations proviennent du rapport de Pelletier et al. (2001). Pour donner un aperçu de l'importance du parc d'actifs présent dans l'étude, voici une évaluation de la valeur de remplacement de ces actifs. La valeur de remplacement a été calculée en dollars de 2000.

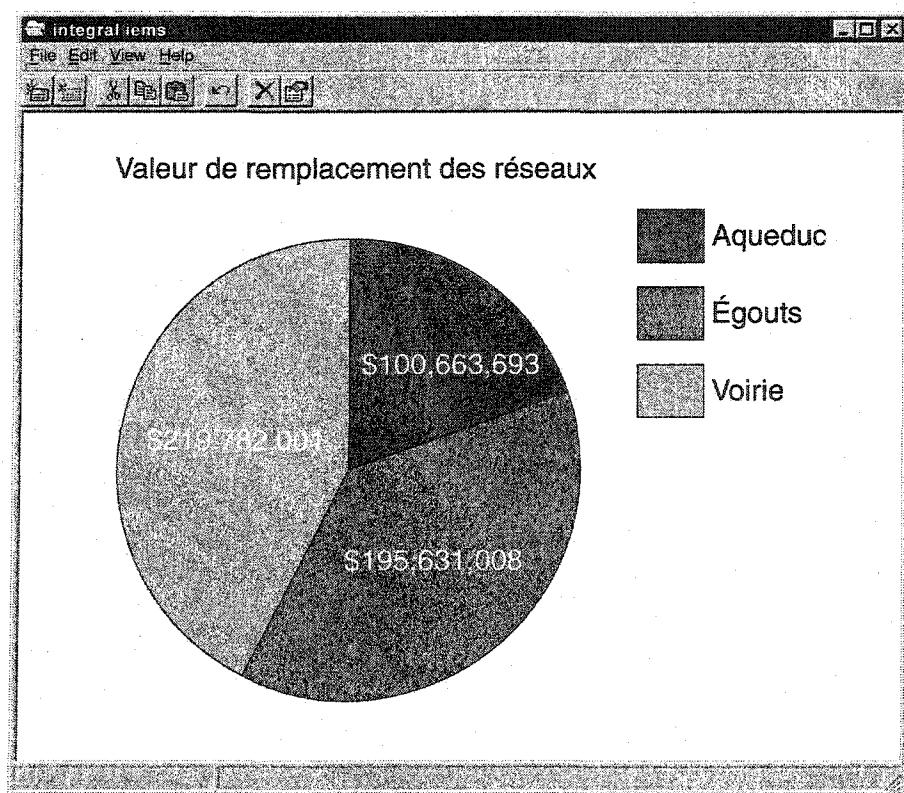


Figure 20 Valeur de remplacement des réseaux
(source : Lalonde et Pelletier, 2000)

3.1.1 Recherche de l'information disponible

L'inventaire et l'analyse des données se sont effectués par des entrevues et des réunions de travail avec les personnes ressources de la Ville de chaque département impliqué. Les documents portant sur les données nécessaires pour l'aqueduc, les égouts et la voirie ont été à la base des discussions. Lors des entrevues, nous avons inventorié de façon assez précise les données disponibles. Nous avons noté leur description, leur format et leur localisation. Par la suite, lors des réunions de travail, nous avons caractérisé plus précisément chaque donnée (fiabilité, précision, étendu, etc.). De plus, pour certaines données, des recherches plus approfondies ont été effectuées.

La recherche étant complétée, nous possédons une vue d'ensemble des données dont la Ville de Sainte-Foy dispose et de la validité de celles-ci. Nous pouvons donc affirmer que, dans l'ensemble, les informations trouvées présentent une valeur importante, mais qu'il existe des lacunes puisque certaines données utiles sont soit inexistantes, soit incomplètes ou proviennent de sources trop anciennes.

Les rapports récapitulatifs sur les données recensées lors de notre analyse sont présentés à l'annexe 9.

3.1.2 Collecte des données

L'accumulation des données requises pour l'expérimentation a suivi le processus énoncé à la section précédente portant sur l'analyse des données, le relevé des données manquantes et le chargement des données.

Afin de bien présenter l'envergure des données accumulées, un résumé des informations est présenté dans les pages qui suivent. De plus, une présentation exhaustive des informations est faite à l'annexe 9.

Tableau IX

Résumé des relevés et activités complémentaires effectués à la Ville de Sainte-Foy à propos du réseau d'aqueduc

Aqueduc	
Description	Étendue
Balancement hydraulique	Ensemble du réseau appartenant à la Ville
Analyse de résistivité des sols	300 points répartis sur l'ensemble du réseau en fonte appartenant à la Ville
Transfert des données existantes à la Ville ayant été identifiées comme potentiellement utilisables	Ensemble du réseau appartenant à la Ville
Structuration des données géométriques	Ensemble du réseau public et privé

(source : Lalonde et Pelletier, 1999)

Une série de tableaux et graphiques permet de présenter la répartition du parc d'actifs de la Ville selon les propriétés cumulées.

Tableau X

Statistiques des réseaux faisant partie du jeu de données

Type d'entité ou événement	Nombre	Longueur (km)	Longueur moyenne (m)
Conduite d'aqueduc	9042	416.185	46.1
Bornes d'incendie	1985	--	--
Bris d'aqueduc	1912	--	--
Conduite d'égouts	8588	562.813	65.5
Regard	7494	--	--
Inspection de conduite	2236	163.078	--
Segment de chaussée	2159	380.185	176.1
Bordure	2839	386.853	136.3
Trottoir	1266	155.065	122.5

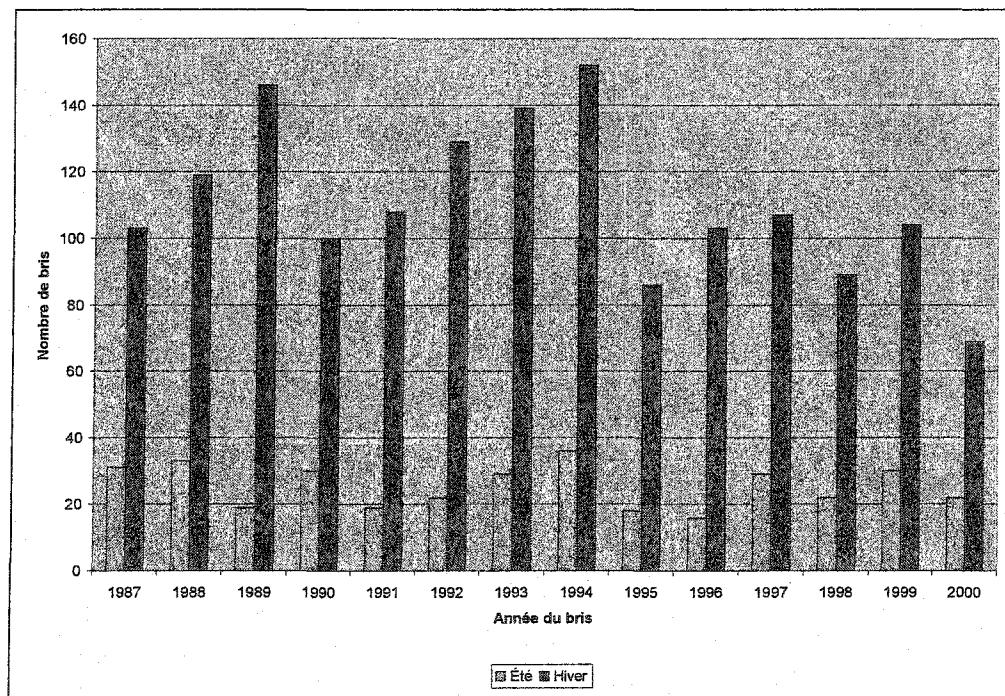


Figure 21 Distribution des bris selon l'année et la saison

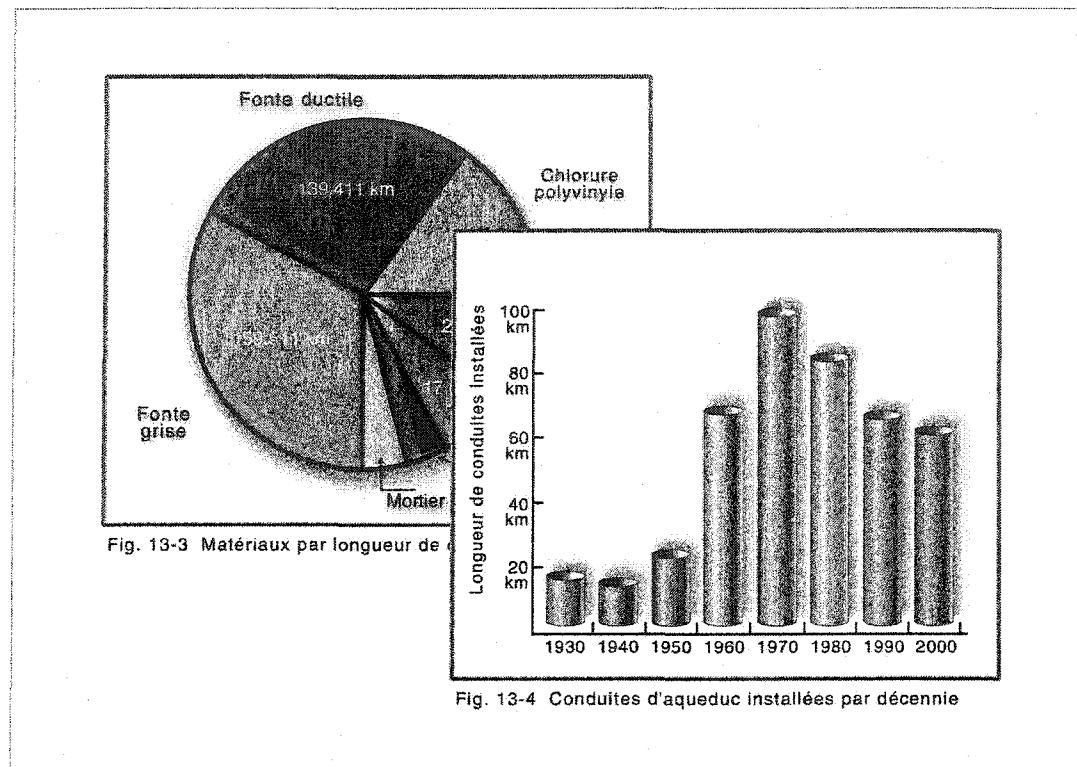


Figure 22 Présentation des caractéristiques du réseau d'aqueduc
(source: Lalonde et Pelletier, 2000)

Une présentation exhaustive des statistiques du jeu de données est présentée à l'annexe 3.

3.2 Résultats pour chacune des cotes

Cette section présente les résultats de l'expérimentation de chacun des modules SGI, dans la séquence suivante: aqueduc, égouts et voirie (Pelletier et al., 2001). Cette dernière a été réalisée en collaboration avec les membres du comité technique de la Ville de Sainte-Foy. Ces derniers validaient les résultats obtenus avec le SGI en comparaison avec l'état réel des segments. Pour ce faire, les résultats obtenus avec le SGI étaient présentés au comité technique qui retenait des segments dont l'état laissait peu de place à l'interprétation (très détérioré ou très bon état), et ce, afin de les comparer avec leur état réel. Si l'adéquation entre les deux était bonne, on conservait

les paramètres utilisés. Sinon, une nouvelle série de calculs était effectuée et les résultats étaient présentés à nouveau au comité technique lors d'une rencontre subséquente.

L'objectif principal encouru par cette démarche était d'appliquer le système dans un contexte réel et de vérifier sa flexibilité en modifiant les critères de décision pour enfin établir une adéquation acceptable entre les résultats du système et l'évaluation de l'état du réseau qu'en ont les gestionnaires à partir de leur expérience. Or, la charge de travail de l'expérimentation résidait dans la recherche des valeurs des critères de décision permettant de se rapprocher petit à petit de l'image du réseau d'aqueduc que les membres du comité technique en avaient. Cette image, que les gestionnaires détiennent de leur réseau, est en fait une représentation du niveau de service, intrinsèque à l'organisation. Ce niveau de service, nous devions en déduire la portée pour établir les bonnes valeurs de critères limites. Les écarts à observer entre la réalité et les résultats du système pouvaient naître de différents aspects : la valeur de la cote qui dénote un état de l'infrastructure, le rang que le segment possède relativement aux autres, puis, enfin, la classe d'intervention prévue selon le niveau de dégradation.

Lors des rencontres, les membres du comité technique ont émis de nombreux commentaires pertinents sur les données utilisées dans les algorithmes et les améliorations sur ceux-ci qui pourraient être réalisées dans une prochaine version. La qualité des données relevées a aussi fait l'objet de discussions, tant sur l'étendue des données disponibles que sur la méthode des relevés utilisée.

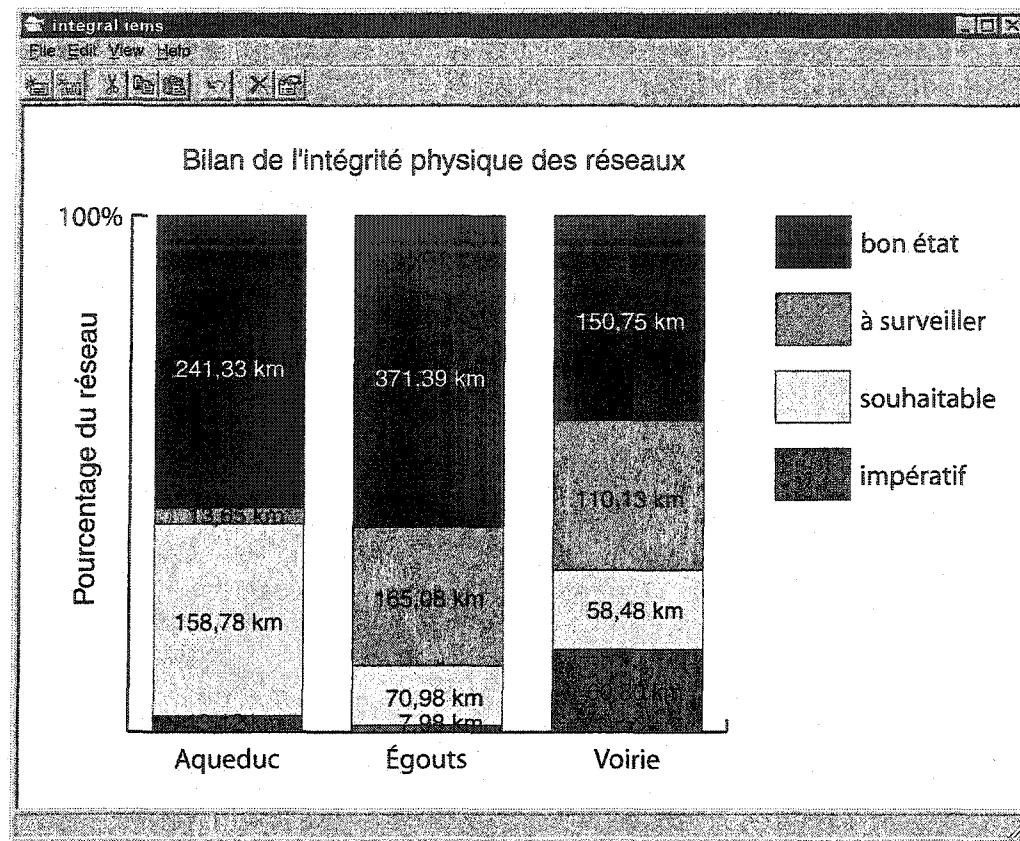


Figure 23 Bilan de l'intégrité physique des réseaux
 (source : Lalonde et Pelletier, 2000)

Cette section présente le sommaire de l'expérimentation. À l'intérieur de ce chapitre, nous énonçons :

- ❖ un sommaire des itérations de l'expérimentation pour chacun des critères d'évaluation avec les résultats sous forme tabulaire;
- ❖ les résultats de l'analyse de sensibilité;
- ❖ un extrait du bilan d'état présentant une liste des segments évalués ainsi qu'une distribution géographique.

Vous trouverez, aux annexes 4, 5 et 6, des extraits des commentaires recueillis lors des rencontres d'expérimentation (Pelletier et al., 1999).

3.2.1 Aqueduc

Pour évaluer la sensibilité des sous-cotes dans le calcul de la CIP, nous avons calculé l'écart entre chacune des sous-cotes et la cote CIP. Nous avons également considéré les combinaisons de deux des trois sous-cotes. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP matériau et la CIP bris.

Tableau XI

Sommaire des itérations – intégrité physique

	CIP bris	CIP matériau	CIP environnement	CIP
Nombre d'itérations	4	3	1	2
Statut impératif	0.1%	0.0%		0.1%
Statut souhaitable	0.9%	44.6%		44.7%
Statut à surveiller	3.3%	22.0%		22.2%
Statut excellent	95.7%	33.4%		33.0%

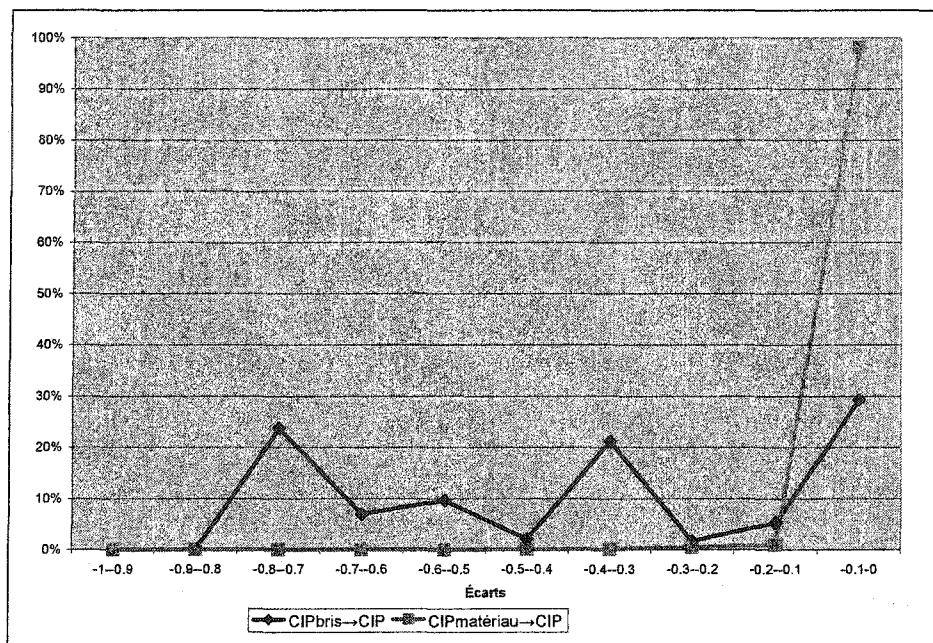


Figure 24 Analyse des écarts portant sur la CIP

Tableau XII

Sommaire des itérations – intégrité fonctionnelle

	Indice incendie	Indice pression	CIF capacité	CIF qualité	CIF
Nombre d'itérations	6	6	6	2	2
Statut impératif	6.3%	1.1%	10.5%	1.1%	11.3%
Statut souhaitable	4.3%	2.1	8.2%	3.1%	9.9%
Statut à surveiller	5.7%	0.0%	0.3%	10.3%	7.3%
Statut excellent	29.6%	93.4%	81.0%	85.5%	71.5%

Le même processus que précédemment a été appliqué à la CIF. Cependant, nous avons ajouté à l'évaluation deux indices importants dans le calcul de la CIF capacité, soit l'indice incendie et l'indice pression. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour l'indice incendie et la CIF capacité.

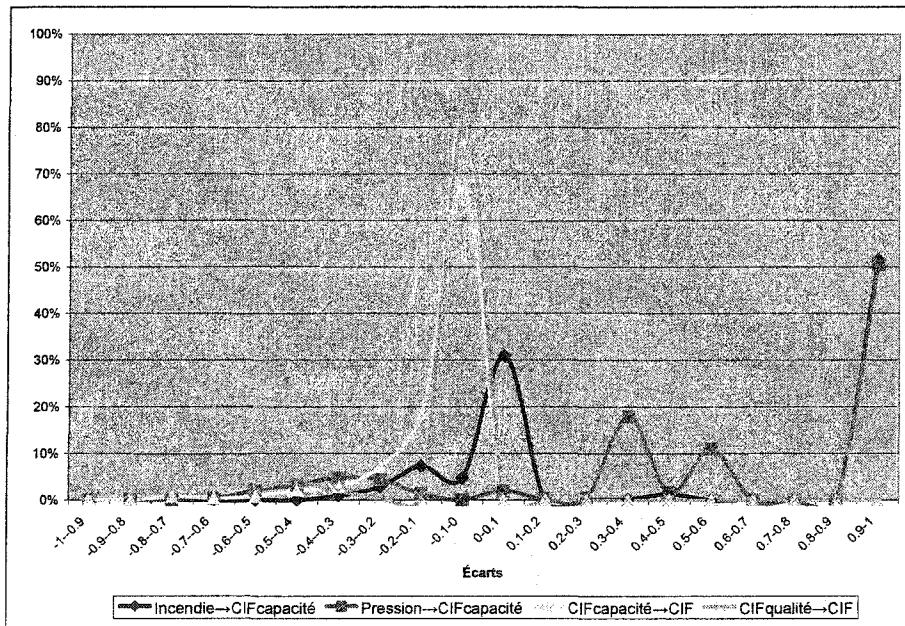


Figure 25 Analyse des écarts portant sur la CIF

Tableau XIII

Sommaire des itérations – cotes globales et arbre de décision

	CIP	CIF	CIL	CI	CGE	CGEA
Nombre d'itérations	2	2	2	2	1	1
Statut impératif	0.1%	11.3%	8.4%	2.0%	12.4%	12.6%
Statut souhaitable	44.7%	9.9%	0.0%	11.5%	42.3%	42.1%
Statut à surveiller	22.2%	7.3%	5.4%	30.1%	21.1%	21.1%
Statut excellent	33.0%	71.5%	33.1%	56.4%	24.2%	24.2%

Les interventions, calculées et basées sur l'arbre de décision, sont présentées à la figure ci-dessous.

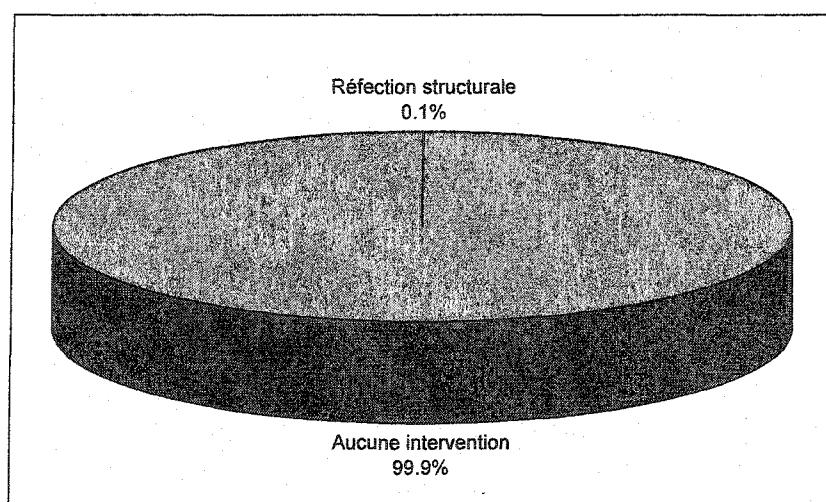


Figure 26 Répartition des interventions calculées selon la longueur

Enfin, nous avons évalué également la sensibilité des cotes sur les cotes globales. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP envers la CGE, la CIP et la CIF envers la CGE et la CGE envers la CGEA.

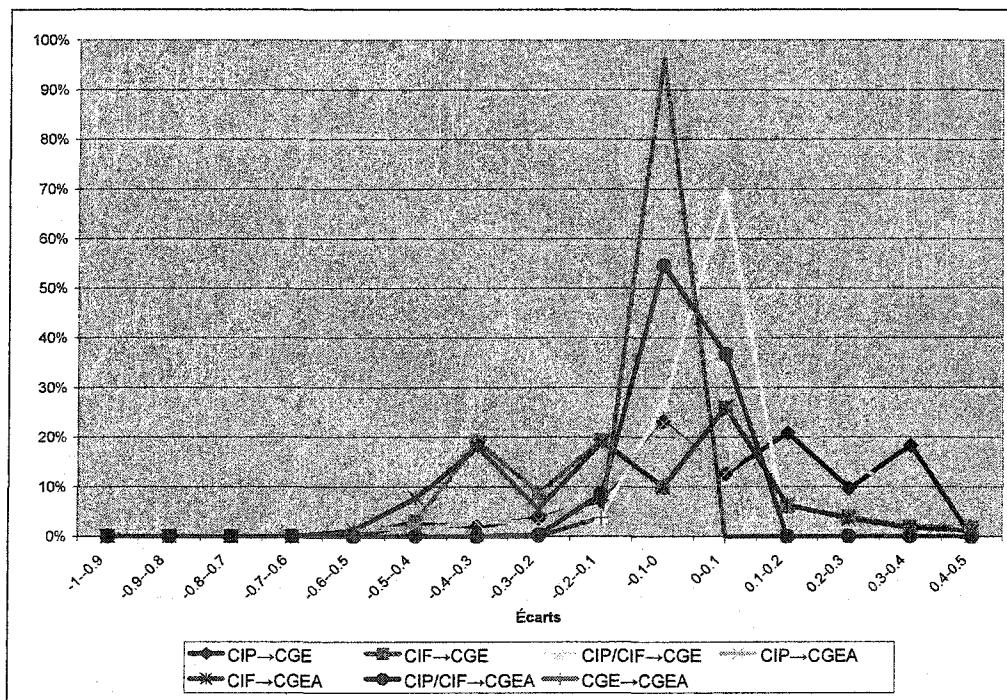


Figure 27 Analyse des écarts portant sur les cotes globales

3.2.2 Égouts

Les pages qui suivent présentent un sommaire des itérations et quelques résultats de l'analyse de sensibilité des algorithmes (Pelletier et al., 2001).

Tableau XIV

Sommaire des itérations – intégrité physique

	CIP structure	CIP matériel	CIP environnement	CIP
Nombre d'itérations	6	2	3	3
Statut impératif	0.1%	0%		0.3%
Statut souhaitable	0.5%	8.4%		8.7%
Statut à surveiller	1.6%	0.0%		1.8%
Statut excellent	97.8%	91.5%		89.2%

Pour évaluer la sensibilité des sous-cotes dans le calcul de la CIP, nous avons calculé l'écart entre chacune des sous-cotes et la cote CIP. Nous avons également considéré les combinaisons de deux des trois sous-cotes. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP matériel et la CIP structure.

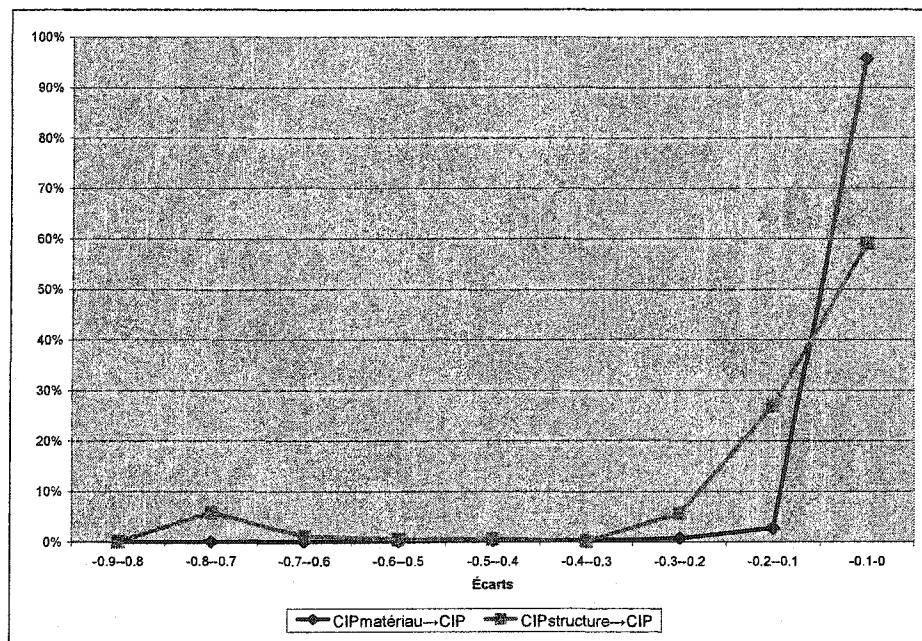


Figure 28 Analyse des écarts portant sur la CIP

Tableau XV

Sommaire des itérations – intégrité fonctionnelle

	Indice refoulement	Indice ligne piézométrique	CIF capacité	CIF contamination	CIF
Nombre d'itérations	4	4	4	2	1
Statut impératif	0.0%		2.5%	0.0%	2.5%
Statut souhaitable	2.5%		0.2%	0.0%	0.2%
Statut à surveiller	0.2%		1.0%	0.0%	1.0%
Statut excellent	97.3%		96.4%	100.0%	96.4%

Le même processus que précédemment a été appliqué à la CIF. Cependant, nous avons ajouté à l'évaluation de l'indice important dans le calcul de la CIF capacité, soit l'indice problème de refoulement. Les résultats du modèle hydraulique n'ayant pas été retenus, aucune analyse de sensibilité n'a pu être pratiquée sur la CIF. La même situation s'applique à la CIF contamination

Tableau XVI

Sommaire des itérations – cotes globales et arbre de décision

	CIP	CIF	CIL	CI	CGE	CGEA
Nombre d'itérations	3	1	3	1	1	1
Statut impératif	0.3%	2.5%	0.1%	0.7%	2.7%	2.7%
Statut souhaitable	8.7%	0.2%	10.4%	4.1%	8.3%	8.3%
Statut à surveiller	1.8%	1.0%	3.0%	29.4%	2.6%	2.6%
Statut excellent	89.2%	96.4%	86.4%	65.8%	86.3%	86.3%

Les interventions calculées, basées sur l'arbre de décision, sont présentées à la figure 29.

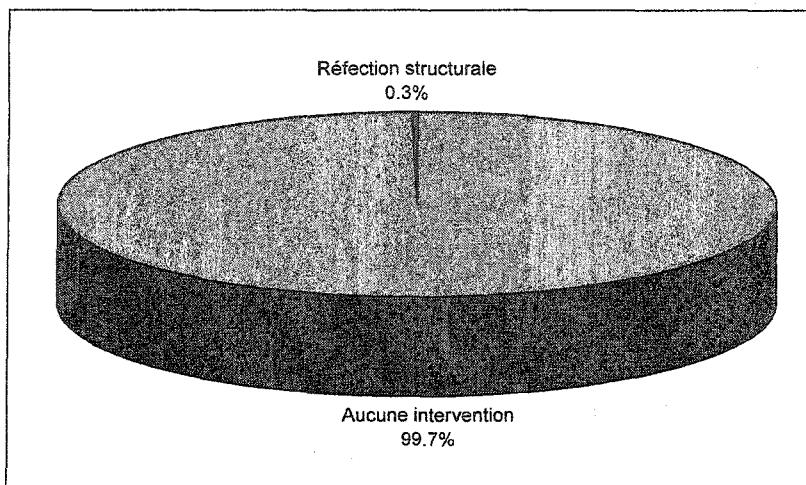


Figure 29 Répartition des interventions calculées selon la longueur

Enfin, nous avons également évalué la sensibilité des cotes sur les cotes globales. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP envers la CGE, la CIP et la CIF envers la CGE et la CGE envers la CGEA.

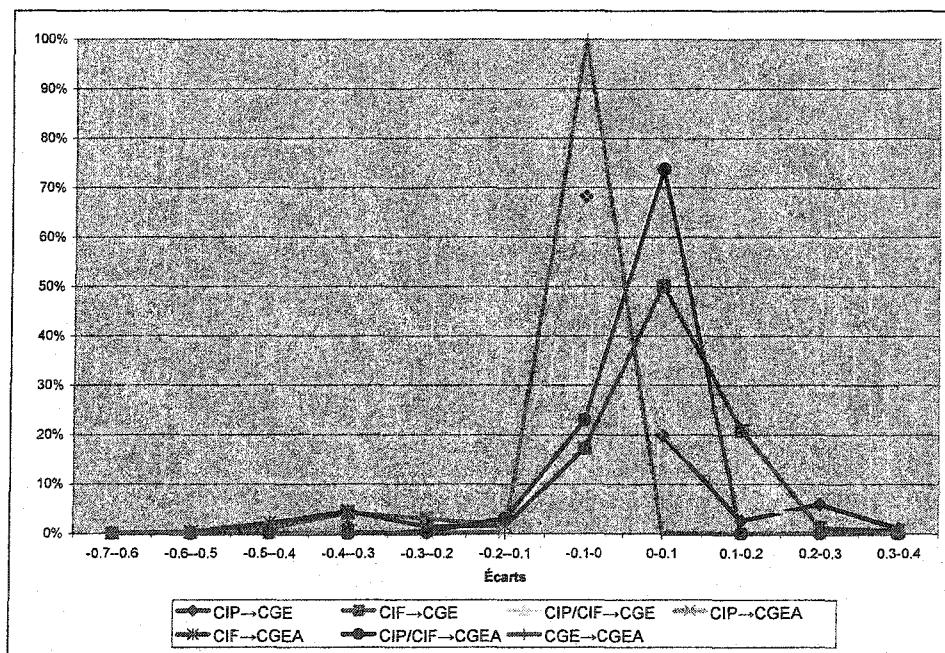


Figure 30 Analyse des écarts portant sur les cotes globales

3.2.3 Voirie

Les pages qui suivent présentent un sommaire des itérations et quelques résultats de l'analyse de sensibilité des algorithmes (Pelletier et al., 2001).

Tableau XVII

Sommaire des itérations – intégrité physique

	CIP bris	CIP surface	CIP gel	CIP capacité	CIP
Nombre d'itérations	2	5	4	3	2
Statut impératif	0.7%	12.3%	1.4%	0.0%	13.2%
Statut souhaitable	3.3%	13.4%	7.7%	0.1%	14.7%
Statut à surveiller	8.9%	25.8%	14.1%	4.7%	29.3%
Statut excellent	87.1%	48.5%	76.9%	95.2%	42.7%

Pour évaluer la sensibilité des sous-cotes dans le calcul de la CIP, nous avons calculé l'écart entre chacune des sous-cotes et la cote CIP. Nous avons également considéré les combinaisons de deux des trois sous-cotes. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP bris et la CIP surface.

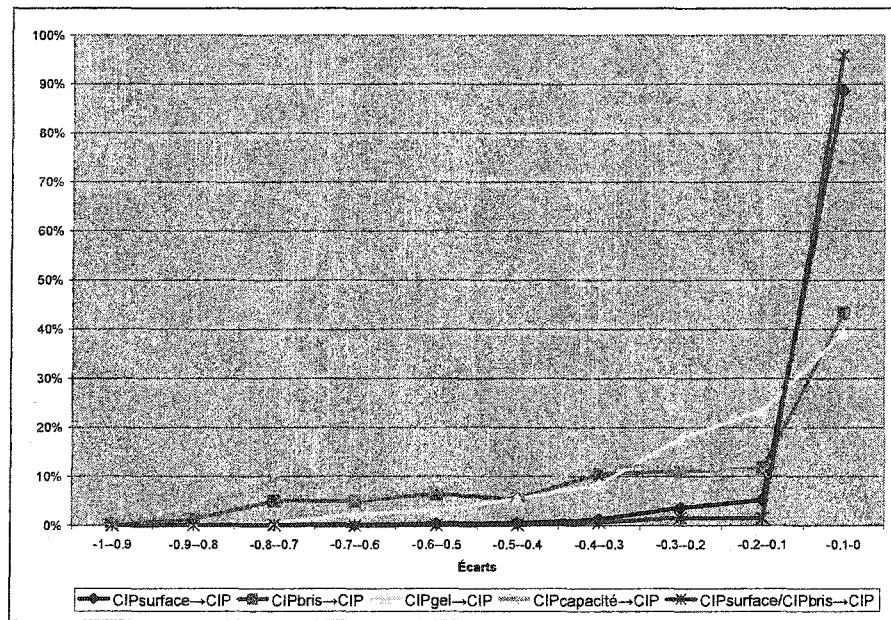


Figure 31 Analyse des écarts portant sur la CIP

Tableau XVIII

Sommaire des itérations – intégrité fonctionnelle

	Indice IRI	Indice uni dégradations	CIF uni	CIF fluidité	CIF sécurité	CIF
Nombre d'itérations	5	5	5	2	4	2
Statut impératif	1.1%	3.0%	0.9%	2.1%	0.4%	3.4%
Statut souhaitable	10.6%	9.0%	9.0%	0.0%	0.8%	8.4%
Statut à surveiller	10.2%	13.2%	9.6%	0.0%	6.6%	9.4%
Statut excellent	7.8%	74.9%	80.5%	97.9%	92.2%	78.8%

Le même processus que précédemment a été appliqué à la CIF. Cependant, nous avons ajouté à l'évaluation d'indices importants dans le calcul de la CIF uni, soit l'indice IRI et l'indice uni dégradations. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la l'indice IRI, et la CIF uni.

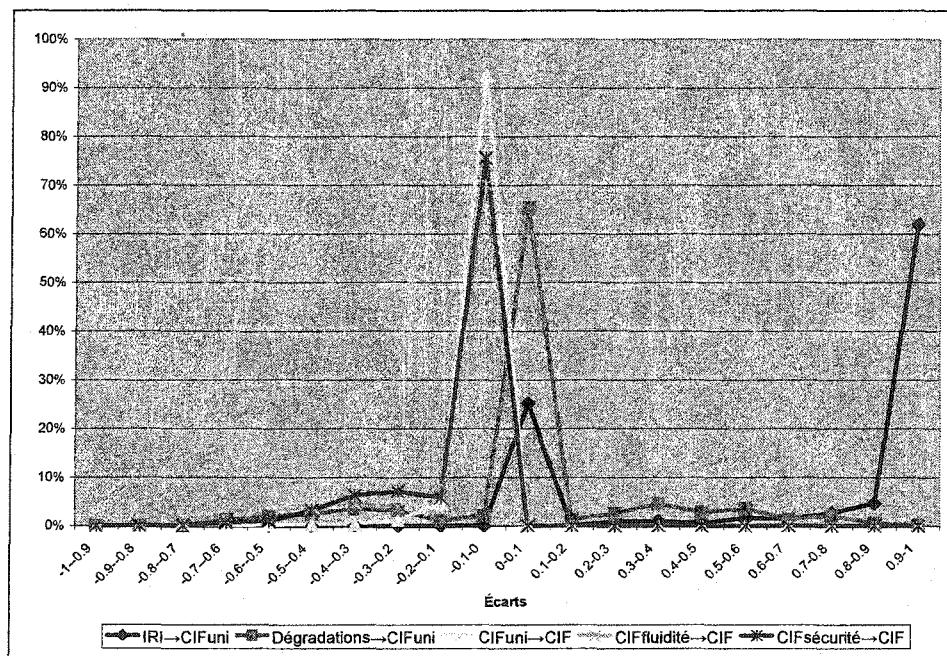


Figure 32 Analyse des écarts portant sur la CIF

Tableau XIX

Sommaire des itérations – cotes globales et arbres de décision

	CIP	CIF	CIL	CI	CGE	CGEA
Nombre d'itérations	2	2	2	2	3	1
Statut impératif	13.2%	3.4%	1.3%	2.6%	16.4%	16.7%
Statut souhaitable	14.7%	8.4%	6.4%	11.4%	16.7%	16.5%
Statut à surveiller	29.3%	9.4%	25.2%	19.5%	28.5%	28.5%
Statut excellent	42.7%	78.8%	8.9%	66.5%	38.4%	38.4%

Les interventions calculées et basées sur l'arbre de décision sont présentées à la figure ci-dessous.

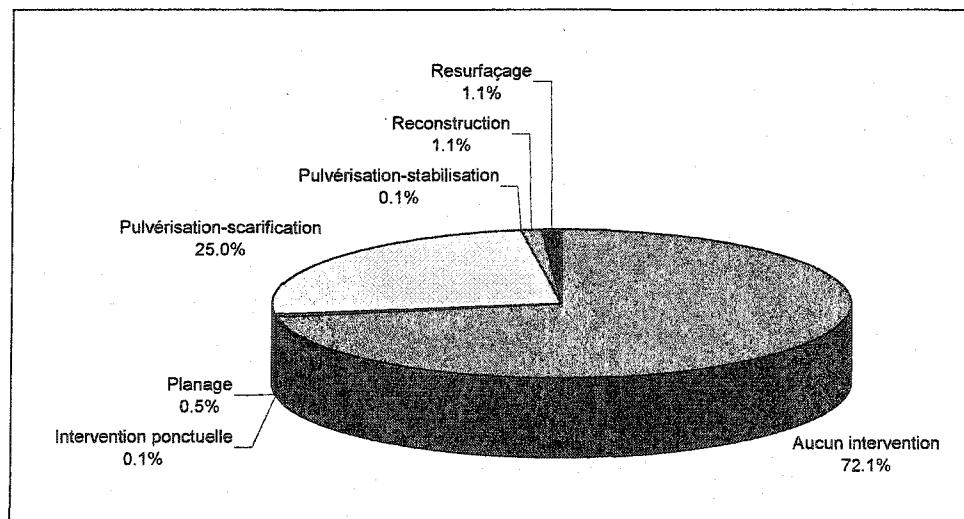


Figure 33 Répartition des interventions calculées selon la longueur

Enfin, nous avons également évalué la sensibilité des cotes sur les cotes globales. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP envers la CGE, la CIP et la CIF envers la CGE et la CGE envers la CGEA.

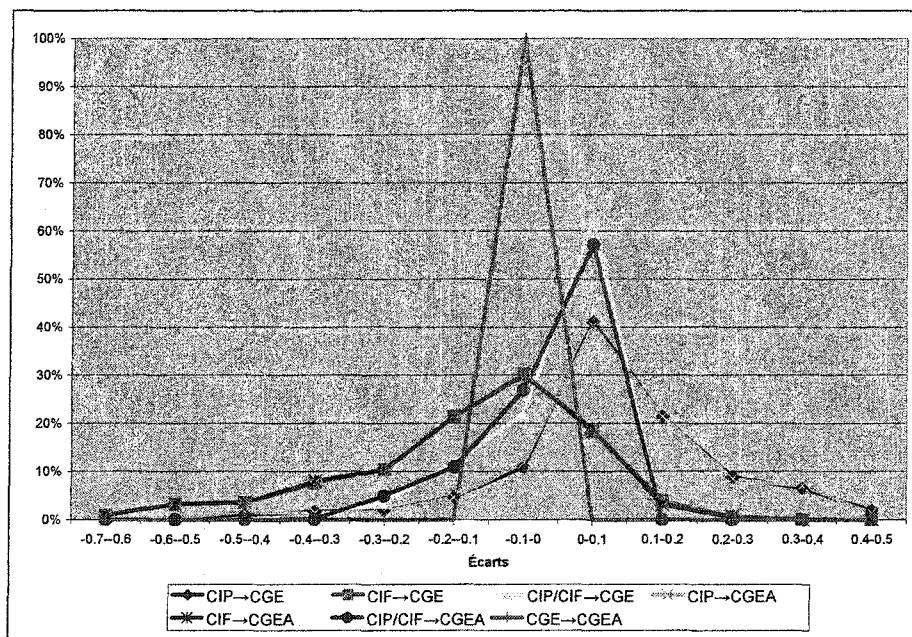


Figure 34 Analyse des écarts portant sur les cotes globales

3.2.4 Résultats obtenus

Les résultats obtenus se retrouvent sous la forme de tableaux exhaustifs et de cartes thématiques. Les tableaux présentent l'ensemble des interventions, des cotes, des sous-cotes, des indices et des valeurs intermédiaires qui résultent des algorithmes du système. Le tableau suivant expose un extrait de ces résultats dans un format tabulaire.

Tableau XX

Extrait des résultats obtenus pour le SGI voirie

No	Rue	Classe d'intervention	CIP	CIF	CIL	CI
1000	CHAPDELAINE	Aucune intervention	0.629	0.800	0.844	0.853
1001	CHAPDELAINE	Pulvérisation-scarification	0.482	0.683	0.844	0.951
1002	CHAPDELAINE	Reconstruction	0.141	0.164	0.863	0.951
1003	CHAPDELAINE	Pulvérisation-scarification	0.413	0.800	0.825	0.951
1004	CHAPDELAINE	Aucune intervention	0.760	0.874	0.882	0.951
1005	CHAPDELAINE	Aucune intervention	0.771	0.900	0.718	0.853
1006	CHAPDELAINE	Aucune intervention	0.998	0.900	0.679	0.853
1007	CHAPDELAINE	Aucune intervention	0.671	0.900	0.640	0.853
1008	CHAPDELAINE	Aucune intervention	0.946	0.838	0.653	0.853
1009	BRANLY	Aucune intervention	0.883	1.000	0.994	0.951
1010	BRANLY	Pulvérisation-scarification	0.817	0.125	0.994	0.853
1011	GRAHAM-BELL	Aucune intervention	0.979	1.000	0.919	0.853
1012	HERTZ	Aucune intervention	0.543	1.000	0.761	1.000
1013	LOUIS-JETTE	Aucune intervention	0.563	0.675	0.646	1.000

(source : Pelletier et al., 2001)

Les cartes thématiques sont une représentation graphique des résultats où on affecte un code de couleur à chacun des segments de la ville, selon l'intervalle de valeurs dans lequel se situe son résultat. Une multitude de cartes ont été produites pour représenter tous les résultats obtenus. La figure présente le résultat de la cote d'intégrité physique (CIP) des segments de chaussée pour le secteur d'expérimentation.

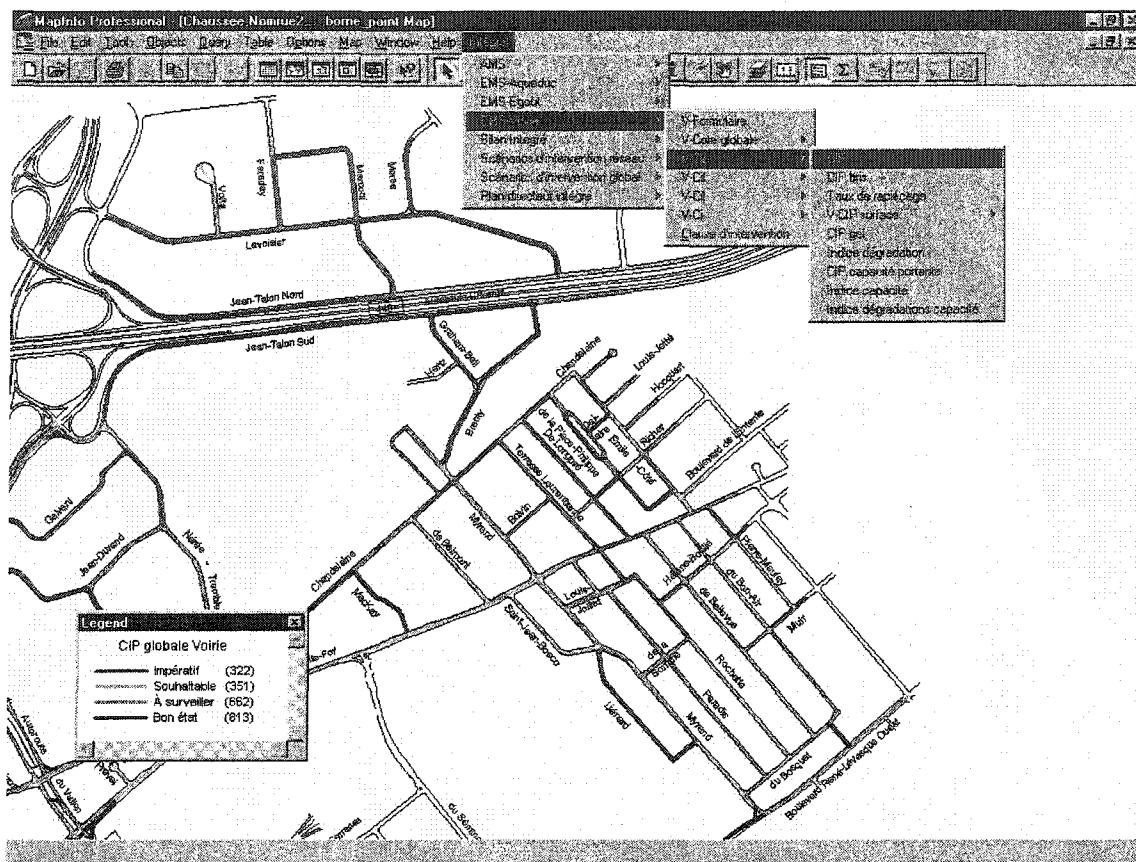


Figure 35 Représentation graphique des résultats obtenus pour le SGI voirie
 (source : Pelletier et al., 2001)

3.3 Durée de vie utile

Pour connaître à moyen et à long terme les besoins en investissement des réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie, nous avons évalué leur durée de vie moyenne respective. Les calculs ont été réalisés en utilisant les historiques de bris du réseau d'aqueduc et les dégradations des réseaux d'égouts et de voirie. Une étude réalisée par le CNRC en 1998, pour le compte de la Ville de Montréal, a servi de base à la démarche effectuée à la Ville de Sainte-Foy et la méthodologie utilisée a été grandement inspirée. Pour chaque réseau, des familles de comportement ont été définies et nous vous présentons, aux tableaux suivants, certains des résultats obtenus :

Tableau XXI

Exemple de durée de vie des conduites d'aqueduc

Matériau	Diamètre	Agressivité des sols	Années d'installation	Durée de vie utile calculée
Fonte ductile	<= 6 po	Élevée	1961 à 1972	39 ans
Fonte ductile	> 6 po	Élevée	1961 à 1972	61 ans
Fonte ductile	> 6 po	Faible à moyenne	1961 à 1972	83 ans
Fonte grise	>6 po	Moyenne à élevée	1950 à 1966	48 ans

(source: Lalonde et Pelletier, 2000)

Tableau XXII

Exemple de durée de vie des chaussées

Matériau	Type de sol	Agressivité des sols	Durée de vie utile calculée
Béton non armé			19 ans
Béton armé	Argile	Élevée	43 ans
Béton armé	Sable et roc	Faible à moyenne	48 ans
Plastique	Sable et roc		132 ans

(source: Lalonde et Pelletier, 2000)

Tableau XXIII

Exemple de durée de vie des chaussées

Sol d'infrastructure des chaussées	Classification fonctionnelle	Trajet d'autobus	Durée de vie utile calculée
Argile	Collectrice	Oui	17 ans
Sable et roc	Collectrice	Oui	25 ans
Sable et roc	Locale	Oui	26 ans
Sable et roc	Artère	Oui	28 ans
Argile	Collectrice	Non	29 ans
Argile	Locale	Non	37 ans
Sable et roc	Locale	Non	39 ans

(source: Lalonde et Pelletier, 2000)

Les durées de vie moyennes calculées sont suffisamment précises pour servir au calcul de besoins d'investissement en réfection pour les périodes à moyen et long terme de chacun des réseaux. Cependant, comme l'historique des données est limité et que les résultats reposent sur certaines hypothèses, ces résultats ne peuvent servir qu'à cette fin et ne peuvent évidemment pas être utilisés pour identifier le moment précis de remplacement d'une conduite d'aqueduc, d'une conduite d'égouts ou d'une chaussée.

Ainsi, les durées de vie estimées dans l'exercice précédent permettent d'établir les besoins en investissements et par surcroît, identifier le retard accumulé (aussi appelé « *Differed Maintenance* ») par les années passées. La figure suivante présente bien ce concept.

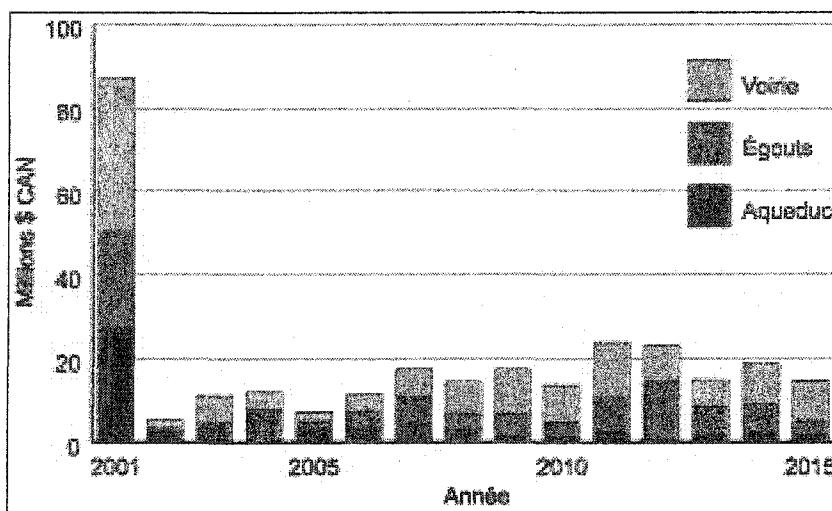


Figure 36 Simulation des besoins en investissements sur un horizon de 15 ans

3.4 Résultats du module intégrateur

Cette section présente les résultats de l'expérimentation du module intégrateur. Cette dernière a été réalisée en collaboration avec les membres du comité technique de la Ville de Sainte-Foy. Les membres validaient les résultats obtenus avec l'intégrateur en comparaison avec l'état réel des segments et les principes de prise de décision des représentants de la Ville. Pour ce faire, les résultats obtenus avec l'intégrateur étaient présentés au comité technique. Celui-ci retenait des segments dont l'état laissait peu de place à l'interprétation afin de les comparer avec leur état réel et aux résultats anticipés. Si l'adéquation entre les deux était bonne, on conservait les paramètres utilisés. Sinon, une nouvelle série de calculs était effectuée et les résultats étaient présentés au comité technique lors d'une rencontre subséquente (Pelletier et al., 2001).

L'objectif principal encouru par cette démarche était d'appliquer le système dans un contexte réel et de vérifier sa flexibilité en modifiant les critères de décision pour enfin établir une adéquation acceptable entre les résultats du système et l'impression des gestionnaires sur l'état du réseau. Or, la charge de travail de l'expérimentation résidait dans la recherche des valeurs des critères de décision permettant de se rapprocher

petit à petit de l'image de la planification que les membres du comité technique avaient en tête. Cette image, que les gestionnaires détiennent de leur réseau, est en fait une représentation des lignes directrices portant sur les choix et la priorité d'intervention, intrinsèque à l'organisation. Les écarts à observer entre la réalité et les résultats du système pouvaient naître de différents aspects : la valeur de la cote qui dénote un état de l'infrastructure, les critères de sélection d'un type d'intervention, l'ordonnancement des interventions selon les priorités puis, enfin, les coûts estimés des interventions.

Lors des rencontres, les membres du comité technique ont émis de nombreux commentaires pertinents sur les données utilisées dans les algorithmes et sur des améliorations qui pourraient être réalisées dans une prochaine version. La qualité des données relevées a aussi fait l'objet de discussions, tant sur l'étendue des données disponibles que sur la méthode des relevés utilisée.

Il est présenté, à l'intérieur de cette section :

- ❖ un sommaire des itérations de l'expérimentation pour chacun des critères d'évaluation avec les résultats sous forme tabulaire et graphique;
- ❖ les résultats de l'analyse de sensibilité;
- ❖ un extrait des résultats présentant une liste des segments évalués ainsi qu'une distribution géographique.

Vous trouverez, à l'annexe 7, un extrait des commentaires recueillis lors des rencontres d'expérimentation ainsi que les actions entreprises et à venir (Pelletier et al., 2001).

Tableau XXIV

Sommaire des itérations – bilan intégré

	CIPI	CIFI	IPI	IPAI	CGEI	CGEAI
Nombre d'itérations	3	3	3	3	3	3
Statut impératif	13.4%	25.7%	31.7%	42.1%	35.2%	35.7%
Statut souhaitable	46.6%	17.6%	33.6%	23.2%	36.4%	35.9%
Statut à surveiller	20.9%	11.2%	15.7%	15.7%	15.7%	15.7%
Statut excellent	19.0%	45.6%	19.0%	19.0%	12.7%	12.7%

Pour le bilan intégré, nous avons évalué la sensibilité des cotes intégrées sur les cotes globales. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIPI envers la CGEI, la CIPI et la CIFI envers la CGEI et la CGEI envers la CGEAI.

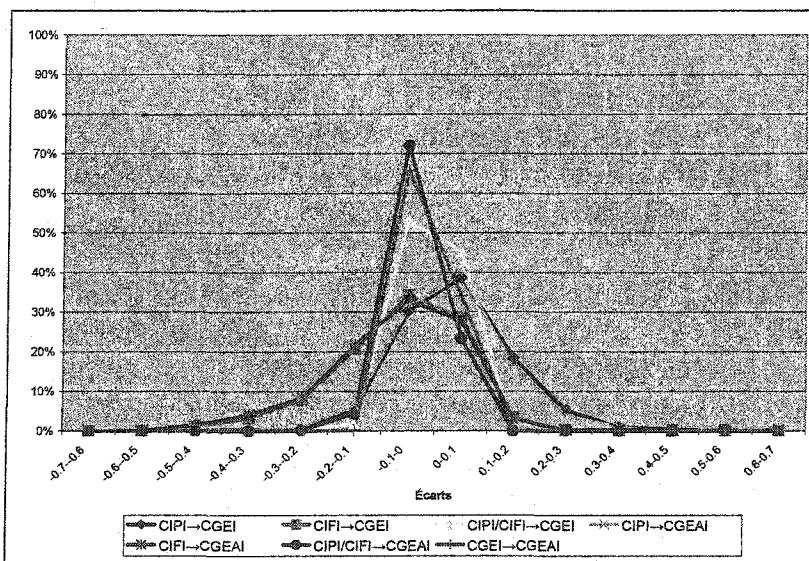


Figure 37 Analyse des écarts portant sur les cotes globales

3.4.1 Résultats obtenus

Les résultats obtenus à chacune des étapes de l'intégrateur se retrouvent sous la forme de tableaux exhaustifs et de cartes thématiques. Tout d'abord, une évaluation de l'état intégré présente le niveau critique de certains segments intégrés (Lalonde et Pelletier, 2000).

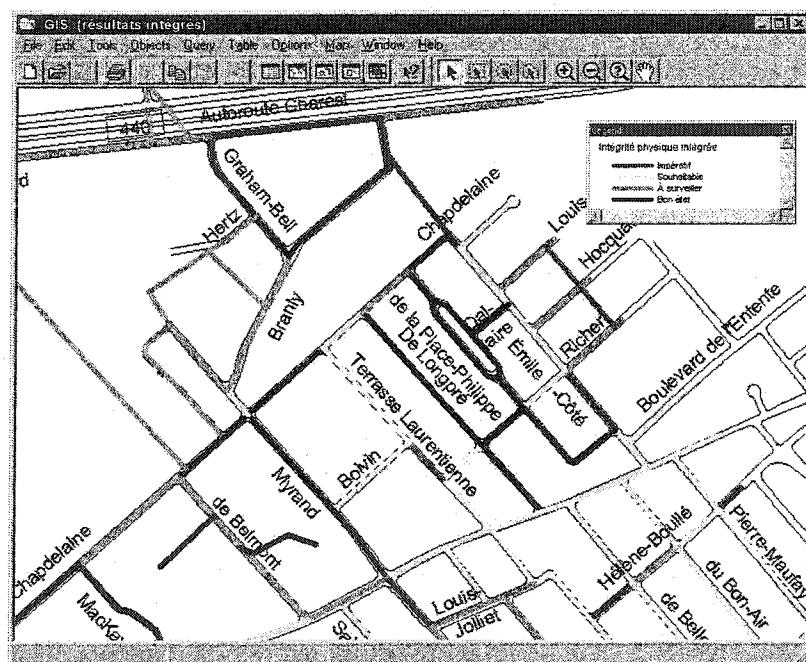


Figure 38 Présentation des résultats intégrés
(source : Lalonde et Pelletier, 2000)

3.4.1.1 Sommaire des itérations

Les figures présentent l'ensemble des interventions, des cotes, des coûts, des années de réalisation et des valeurs intermédiaires qui résultent des algorithmes du système.

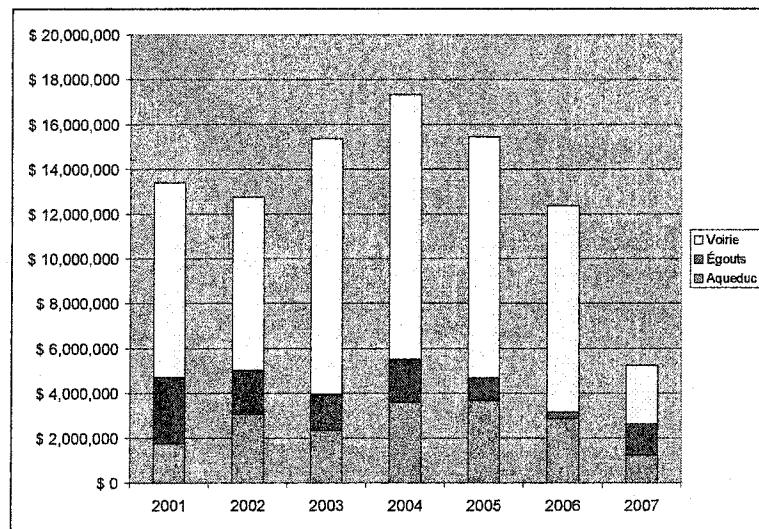


Figure 39 Plan directeur intégré par année, selon les montants par réseau

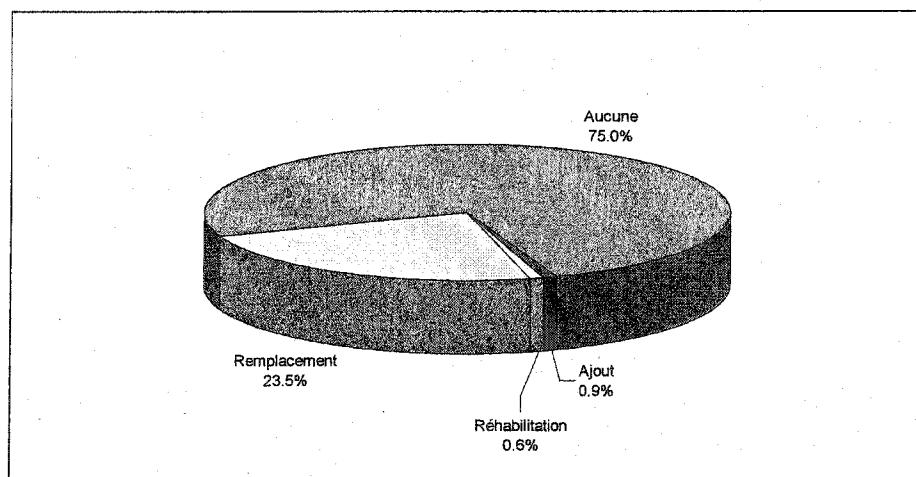


Figure 40 Intervention aqueduc intégrée et calculée selon les longueurs

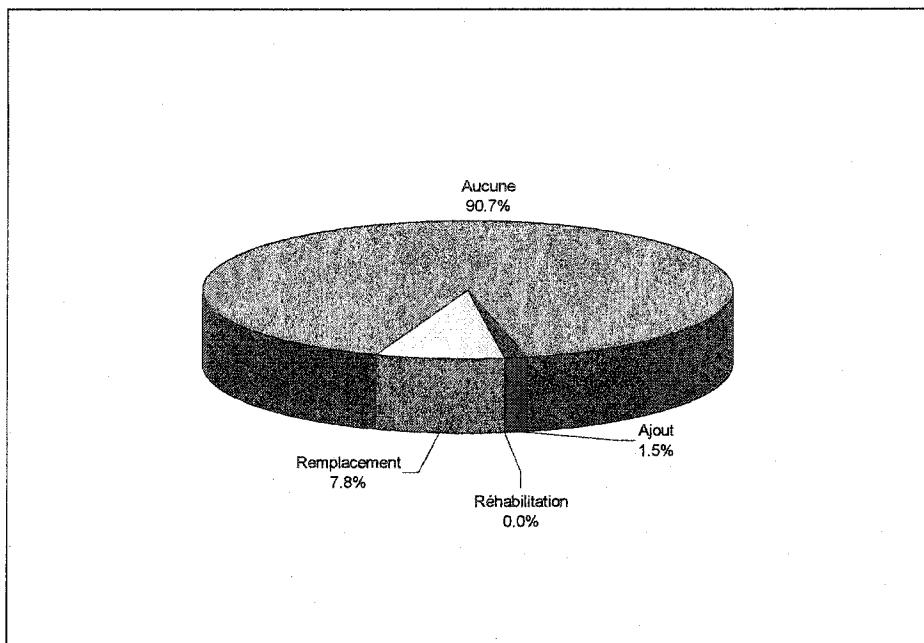


Figure 41 Intervention égouts intégrée et calculée selon les longueurs

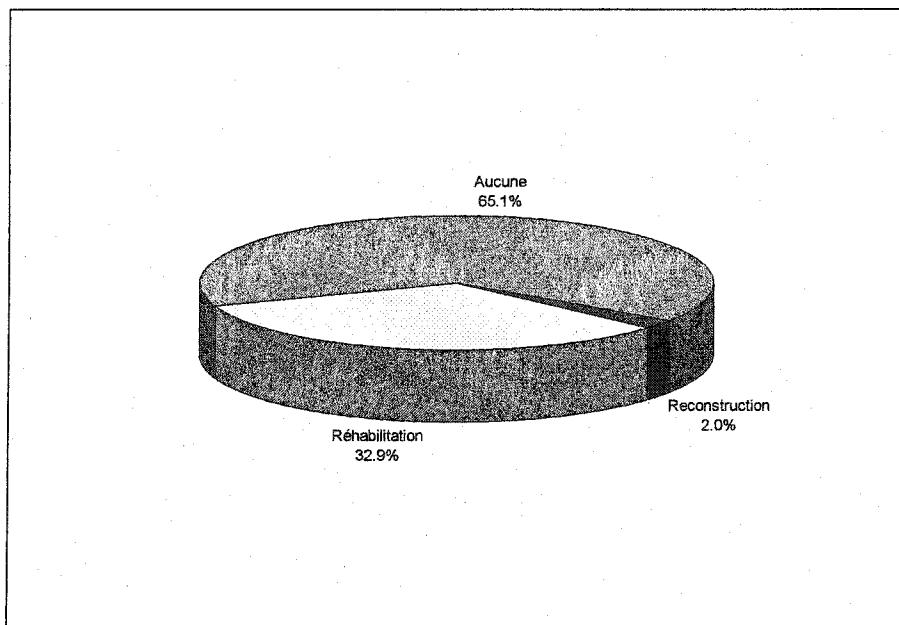


Figure 42 Intervention voirie intégrée et calculée selon les longueurs

Le tableau suivant expose un extrait de ces résultats dans un format tabulaire.

Tableau XXV

Extrait des résultats obtenus pour le scénario d'intervention global

No Segment intégré	Rue	Classe d'intervention intégrée	Coût global	Année
SI-00001	CHAPDELAINE	Réhabilitation égouts	38 570 \$	2000
SI-00002	CHAPDELAINE	Pulvérisation / scarification voirie	48 562 \$	2000
SI-00003	CHAPDELAINE	Reconstruction voirie	59 716 \$	2002
SI-00004	CHAPDELAINE	Pulvérisation / scarification voirie	38 607 \$	2000

(source : Lalonde et Pelletier, 2000)

Les cartes thématiques sont une représentation graphique des résultats où on affecte un code de couleur à chacun des segments de la ville selon l'intervalle de valeurs dans lequel se situe son résultat. Une multitude de cartes ont été produites pour représenter tous les résultats obtenus. La Figure 43 présente le résultat de l'année de réalisation des travaux suggérés pour chacun des segments intégrés pour le secteur d'expérimentation.

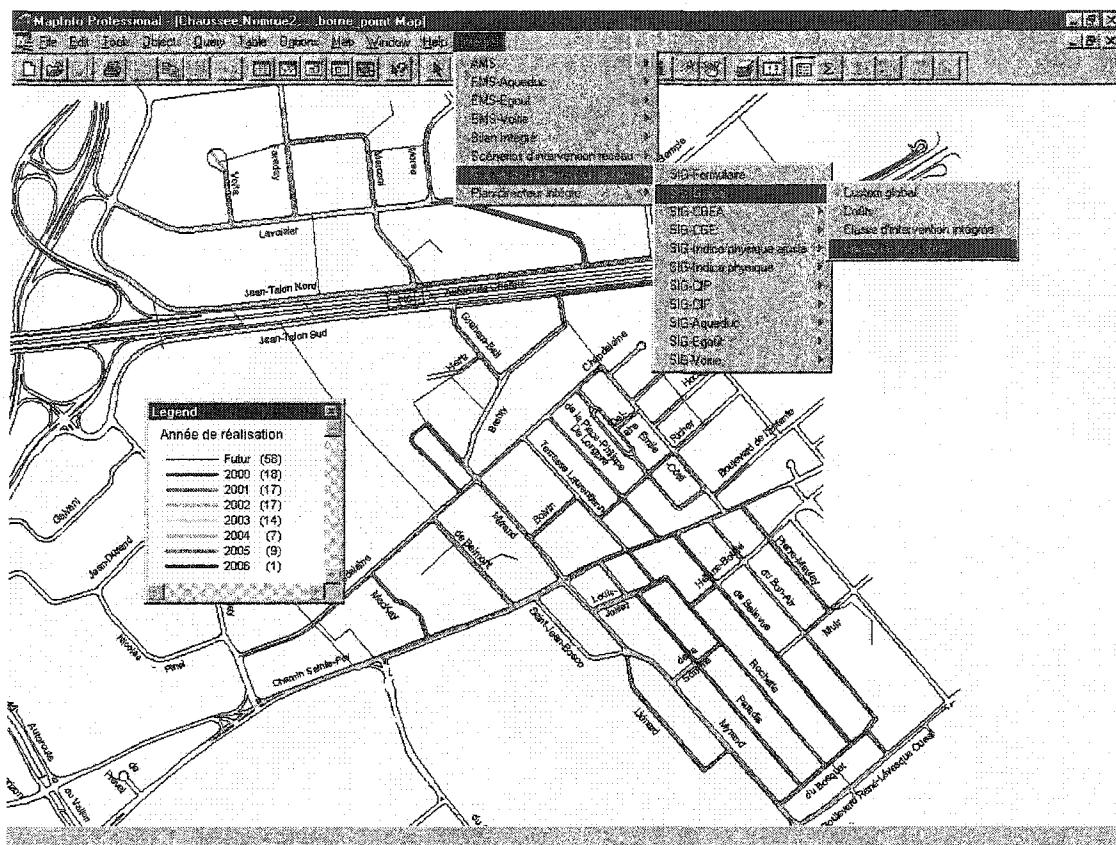


Figure 43 Représentation graphique des résultats obtenus
(source : Pelletier et al., 2001)

Enfin, le résultat ultime du processus, le plan directeur intégré, est disponible sous forme de cartes thématiques, tout comme l'ensemble des résultats énoncés précédemment, mais également sous forme de rapport.

CHAPITRE 4

ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Cette section présente les principales conclusions portant sur les résultats obtenus, les conclusions portant sur l'analyse de sensibilité des algorithmes ainsi que certaines précisions ou commentaires sur les données utilisées dans le cadre de l'expérimentation (Pelletier et al., 2001).

4.1 Aqueduc

4.1.1 Analyse des résultats – intégrité physique

4.1.1.1 CIP bris

La segmentation, adoptée en aqueduc (c'est-à-dire aux croisements de conduites, aux changements de diamètre, aux changements de matériau et aux bornes d'incendie), pose problème en ce qui concerne l'évaluation de la densité des bris. En effet, on retrouve des conduites trop courtes ayant des longueurs de 10 à 20 mètres. Une réflexion sur une approche alternative nous a conduit aux scénarios suivants : la restructuration des données géométriques, la création d'une table de correspondance pour ramener la longueur à des valeurs acceptables, la réaffectation des bris aux conduites adjacentes de longueur appréciables et/ou l'analyse spatiale des bris sur des conduites consécutives.

Certains facteurs extérieurs peuvent influencer la fréquence des bris. Ainsi, une analyse en profondeur des causes des bris versus la probabilité d'occurrence permettra de définir les variables explicatives des bris. En fin de compte, peut-être faudra-t-il tout simplement considérer l'ensemble des bris ou retirer ceux ayant des causes non reliées à l'intégrité physique de la conduite.

Le calcul du nombre critique de bris doit être relié à leur coût. Ainsi, un endroit où les bris coûtent plus cher à réparer devrait être mis en priorité.

4.1.1.2 CIP matériau

Les conduites en fonte grise qui ont été réhabilitées par un revêtement intérieur doivent être considérées d'une façon différente. L'intégrité physique n'est rétablie qu'à l'intérieur, alors que la corrosion peut encore avoir un effet sur la paroi externe de la conduite.

Dans certains cas, un relevé sommaire de la résistivité du sol peut s'avérer insuffisant. Ceci se produit dans certaines zones lorsque le faible nombre de relevés fait en sorte que la carte de corrosivité du sol présente des situations qui sont moins sévères que la réalité. Il faut donc augmenter la précision de cette carte par des investissements minimum..

4.1.1.3 CIP environnement

Afin de préciser si une conduite est vraiment sujette à une sollicitation au gel, il serait suggéré de corriger la profondeur du gel en fonction du type de sol.

4.1.1.4 CIP globale

Le poids retenu pour chacun des paramètres de calcul a pour conséquence que peu de conduites sont qualifiées dans un état critique. En effet, la seule sous-cote qui contribue à rendre un élément critique est la CIP bris. Toutefois, avec les années, l'historique de bris deviendra plus fiable et une comparaison pourra être faite avec la notion de courbe de dégradation.

4.1.2 Analyse de sensibilité – intégrité physique

Le nombre d'itérations pour parvenir à un résultat valable se situant à quatre pour la CIP bris et trois pour la CIP matériau démontre une sensibilité supérieure de ces critères dans la prise de décision et un rapprochement moyen avec les façons dont les gestionnaires qualifient leurs infrastructures. De plus, l'analyse de sensibilité nous a permis de démontrer que les caractéristiques de base qui influencent le plus les résultats de la CIP sont celles prises en compte dans la CIP matériau. Cependant, une amélioration de la précision apportée par l'information contenue dans la CIP bris est appréciable. Il est donc possible de croire que les bris d'aqueduc peuvent influencer la décision avec une différence notable. Toutefois, l'information de base reste un élément incontournable.

4.1.3 Analyse des résultats – intégrité fonctionnelle

4.1.3.1 CIF capacité hydraulique

La pression requise est variable selon les caractéristiques des consommateurs. Donc, la définition des paramètres, qui peut se faire selon les types de bâtiments desservis, doit être judicieusement sélectionnée.

Une attention particulière doit être portée à la qualité de l'information graphique (structuration et connectivité entre les conduites et les bornes incendie) et à la qualité de l'information descriptive (débit incendie requis, plaintes de débit et de pression) pour améliorer les résultats.

L'indice tenant compte du diamètre effectif d'une conduite est basé sur une donnée difficilement accessible. Il serait bon toutefois qu'un algorithme déduise cette valeur du coefficient Hazen-Williams.

De plus, une amélioration de l'algorithme serait envisageable afin de localiser les sources de problèmes fonctionnels en tenant compte de la perte de charge.

4.1.3.2 CIF qualité de l'eau

La prise en compte des problèmes de qualité de l'eau a été suffisante pour démontrer le potentiel de cet algorithme. Toutefois, la provenance des plaintes de qualité de l'eau doit être analysée pour que les problèmes fondés soient considérés. Dans les développements futurs, il serait intéressant d'approfondir le processus à suivre pour confirmer l'origine des problèmes de qualité de l'eau.

4.1.3.3 CIF globale

Les résultats représentent bien la réalité et ont permis de bien identifier les endroits problématiques à corriger. Une amélioration future devrait porter sur la section de conduite qui est en cause pour mieux planifier le renouvellement des infrastructures.

4.1.4 Analyse de sensibilité – intégrité fonctionnelle

Le nombre d'itérations pour parvenir à un résultat valable se situant à six pour les indices de capacité hydraulique confirme le manque de connaissance portant sur l'évaluation des critères de décision quant à la protection incendie et à la fois la forte importance de cet indice. Pour ce qui est de la qualité de l'eau, le nombre faible d'itérations semble démontrer que cet aspect est bien maîtrisé par les gestionnaires et que le système répond bien. De plus, l'analyse de sensibilité nous a permis de démontrer que les aspects étudiés font fluctuer les résultats de la CIF capacité. Puisque nous nous fions aux résultats du modèle hydraulique, l'analyse de sensibilité ne présente pas d'écart significatifs.

4.1.5 Analyse des résultats - intégrité des infrastructures liées

4.1.5.1 CIL borne d'incendie

Contrairement aux regards d'égouts qui sont liés de plus près à la conduite, l'état des bornes d'incendie est secondaire pour l'évaluation des conduites d'aqueduc. Les marques et les modèles indésirables reflètent bien l'état des bornes d'incendie. Habituellement, une borne d'incendie déficiente est corrigée dans un délai trop court pour être considérée dans l'analyse.

4.1.6 Analyse de résultats – impact socio-économique

4.1.6.1 CI nombre d'utilisateurs

L'utilisation du diamètre pour estimer le nombre d'utilisateurs touchés par l'interruption du service d'eau potable est une bonne approche. Il serait intéressant de combiner cette approche avec le type d'utilisateurs desservis par la conduite en bout de ligne.

4.1.6.2 CI trafic

Dans certains cas, le rôle de la rue est différent de l'achalandage de la chaussée. Par exemple, le coefficient pour les collectrices, tels les rangs, peut être trop sévère. L'ajout de l'information sur le débit journalier moyen annuel (DJMA) de véhicules permet de préciser l'impact attendu.

4.1.6.3 CI globale

Une moyenne des sous-cotes semble un bon compromis pour calculer l'impact associé à la rupture d'une conduite.

4.1.7 Analyse des résultats - cotes globales et arbre de décision

4.1.7.1 CGE, cote globale d'état

La pondération de l'état des accessoires est importante. Il est très important que les paramètres soient choisis de façon à ce qu'une conduite en bon état, mais ayant des accessoires déficients, ne se retrouve pas dans le groupe des conduites mises en priorité d'intervention.

4.1.7.2 CGEA, cote globale d'état ajustée

La classification fonctionnelle routière reprise dans la cote d'impact socio-économique est un élément considéré comme important dans l'analyse des segments d'aqueduc. La pondération de ce critère remplit sa mission, à savoir d'augmenter la priorité d'un segment déjà détérioré, parce qu'ayant une conséquence plus grave à la rupture.

Il est très important que les paramètres soient choisis de façon à ce qu'une conduite en bon état, mais ayant de graves conséquences engendrées par une rupture, ne se retrouve pas dans le groupe des conduites mises en priorité.

4.1.7.3 Arbre de décision, intervention d'aqueduc

Les critères de décision pour proposer la réhabilitation ou la réfection des conduites sont basés sur certaines politiques de gestion. Les conduites situées à des endroits où l'excavation est trop dispendieuse doivent conserver la caractéristique *sans tranchée requise* tout au long du processus.

Il est important de souligner que l'arbre de décision propose des interventions pour corriger des problèmes d'intégrité physique. Ainsi, il ne tient pas compte des défaillances fonctionnelles.

4.1.8 Analyse de sensibilité – cotes globales

La constitution des cotes globales et de l'arbre de décision nécessite peu d'itérations. Cette pratique démontre l'adéquation de l'algorithme aux attentes des gestionnaires. De plus, l'analyse de sensibilité nous a permis de démontrer que la CIP et la CIF présentent une sensibilité supérieure dans le calcul de la CGE. Cependant, la CIL et la CI ont un impact très faible sur la CGE et la CGEA. Ceci confirme que les infrastructures liées du réseau d'aqueduc sont réellement secondaires dans la prise de décision.

4.1.9 Commentaires sur les données utilisées

4.1.9.1 Historique des bris d'aqueduc

L'historique de bris d'aqueduc est la pierre angulaire de l'évaluation de la cote d'intégrité physique. On doit s'assurer d'avoir une source de données complète et fiable.

4.1.9.2 Matériau, année, corrosivité du sol

Avec l'historique des bris, ces données constituent une source d'information fondamentale pour estimer l'état physique des conduites. Ces caractéristiques distinguent clairement les différents comportements de dégradation.

4.1.9.3 Modèle hydraulique

Pour identifier et localiser les endroits où le réseau connaît des problèmes fonctionnels, on peut se fier à la compilation des plaintes des citoyens ou à l'appréciation des gestionnaires. Ainsi, nous pouvons affirmer que le modèle hydraulique n'est pas essentiel pour identifier les endroits problématiques du réseau. Toutefois, le modèle hydraulique prend toute son importance dans la résolution des problèmes fonctionnels par l'élaboration de plusieurs alternatives de solutions.

4.1.9.4 Données de configuration géométrique

Une grande précision de ces données n'est pas essentielle. Cependant, pour la structuration, il est nécessaire d'être constant et rigoureux dans l'application de ces méthodes afin de permettre une évaluation adéquate des infrastructures.

4.1.9.5 Données du réseau routier

Ces données ont un apport important, principalement au niveau de l'analyse des impacts socio-économiques. Il faut souligner que ces dernières nécessitent une assignation à un segment intégré afin d'être disponible au segment d'aqueduc approprié.

4.2 Égouts

4.2.1 Analyse des résultats – intégrité physique

4.2.1.1 CIP structure

Le devis d'inspection télévisée doit être clair pour spécifier le livrable du fournisseur de services. Un des éléments à vérifier concerne la différence entre un niveau d'eau uniforme sur toute la longueur de la conduite et un bas-fond (niveau d'eau plus élevé de façon ponctuelle). Il est très difficile d'analyser la défectuosité « Niveau d'eau » afin de lui assigner la bonne valeur quand on ne possède pas les données de conditions climatiques antérieures, ce qui est le cas actuellement. Il faudrait indiquer au technicien comment la défectuosité « Niveau d'eau » doit être saisie lors de l'inspection télévisée afin d'obtenir l'information désirée. Le devis d'inspection télévisée doit également mentionner comment saisir les défectuosités (chaînage de début et de fin, étendue) afin d'obtenir des données fiables.

Infiltration, exfiltration: il y a beaucoup de points à éclaircir sur l'évaluation de ces défectuosités afin d'obtenir des données représentatives de la réalité. Actuellement, aucune analyse de la hauteur de la nappe phréatique, des pluies antérieures et du taux de saturation du sol n'est effectuée pour déterminer si le segment est propice à l'infiltration/captage (conduite plus basse que la nappe phréatique), à l'exfiltration (conduite plus haute que la nappe phréatique) ou les deux (variation de la nappe phréatique). La considération de la période de l'année où est effectuée l'inspection télévisée (en période de sécheresse estivale ou en périodes printanière ou automnale qui sont beaucoup plus pluvieuses) est aussi importante pour déterminer adéquatement le potentiel d'infiltration/captage et d'exfiltration. Cette analyse est essentielle pour déterminer la méthodologie de travail du technicien sur le terrain afin d'obtenir des données fiables sur ce type de défectuosités.

Une clause dans les devis de construction à l'effet que la Ville se réserve le droit d'effectuer une inspection télévisée des conduites d'égouts 2 ou 3 ans (nombre d'années à déterminer) après la construction afin de vérifier la présence de défectuosités. Il est préférable d'attendre quelques années après la construction afin de laisser le temps aux défectuosités de se créer et d'être en mesure de connaître les conduites se détériorant rapidement.

Avant de planifier des travaux de repavage d'une rue, une inspection télévisée des conduites d'égouts sous la chaussée devrait toujours être effectuée afin de vérifier leur état et pour éviter ainsi d'avoir à les remplacer quelques années après le repavage. La durée de vie du repavage est évaluée en moyenne à 20 ans et la conduite doit être en mesure d'offrir un rendement adéquat sans nécessiter un grand nombre de réparations. Il faut donc trouver un moyen pour évaluer si la conduite fonctionnera 20 ans sans avoir de problèmes majeurs. Il est mentionné que les travaux de voirie peuvent être retardés un peu afin de permettre de corriger les problèmes d'égouts. De plus, certains matériaux, comme le béton non armé, sont systématiquement remplacés, et ce, peu importe leur état lors d'une réfection de chaussée, car ils résistent peu aux impacts qui surviendront lors de la réalisation des travaux.

Les fissures dans les conduites en béton non armé devraient être considérées plus sévèrement, car celles-ci sont beaucoup plus importantes que dans un matériau comme le béton armé. L'armature d'une conduite en béton armé retient les matériaux en place malgré les fissures, ce qui n'est pas le cas pour la conduite en béton non armé.

4.2.1.2 CIP matériau

Dans les développements futurs, il serait intéressant d'envisager la possibilité de modifier l'algorithme pour séparer en groupe de matériau et d'âge les valeurs associées. Ainsi, par exemple, un béton non armé de 1930 à 1950 pourrait avoir la cote 0.5 tandis qu'un béton non armé de 1950 à 1960 aurait la cote 0.2 et un béton non armé de 1990 aurait une cote de 0.8.

4.2.1.3 CIP environnement

Dans les développements futurs, il serait intéressant d'envisager l'opportunité de reconsidérer la profondeur que pour certains types de défectuosités, telles les fissures, dont la dégradation sera accélérée par le poids qui est appliquée sur la conduite. Pour d'autres types de défectuosités, tels que les joints décalés, la profondeur n'a pas un impact réel.

4.2.1.4 CIP globale

Nous nous retrouvons avec peu de segments dont la CIP est impérative. Ceci s'explique par le fait que seule la CIP structure et un effet amplifiant de la part de la CIP environnement peuvent rendre la CIP impérative et par le nombre restreint de conduites inspectées. Il sera intéressant de regarder, dans les prochaines années, la comparaison de cette cote avec les courbes de dégradation alors que nous aurons un nombre de conduites inspectées plus grand.

4.2.2 Analyse de sensibilité – intégrité physique

Le nombre élevé d'itérations (6) nécessaires pour aboutir à une valeur acceptable de la CIP structure démontre la complexité de l'évaluation de la condition structurale selon une inspection télévisée. Cependant, le faible nombre d'itérations pour les autres critères de la CIP (matériau et environnement) semble démontrer que ces aspects sont bien maîtrisés par les gestionnaires et que le système répond bien. De plus, l'analyse de sensibilité nous a permis de démontrer que les caractéristiques de base qui influencent le plus les résultats de la CIP sont celles prises en compte dans la CIP matériau. De plus, malgré un bon nombre de conduites inspectées, la variation apportée par la CIP structure est mince. Il faudra, lors de d'autres expérimentations, pour vérifier la reproductibilité du phénomène.

4.2.3 Analyse des résultats – intégrité fonctionnelle

4.2.3.1 CIF capacité hydraulique

Les données de base du modèle hydraulique (radiers, diamètres, pente des segments, élévation du sol, coefficient de perméabilité du sol, débit de temps sec, etc.) doivent être validées étant donné la très haute sensibilité qui les caractérise dans le cadre de la calibration.

De plus, dans une version future, il faudrait regarder les avenues suivantes pour améliorer les résultats de cette sous-cote :

- ❖ Afin de pouvoir identifier les goulots d'étranglement où les problèmes prennent naissance, on pourrait considérer le rapport de pente (pente de la conduite / pente de la ligne piézométrique) ainsi que la profondeur de la ligne piézométrique par rapport au sol. Ces mesures permettraient d'isoler les segments où on note un changement de comportement important.

- ❖ Un choix devra être fait entre la possibilité de considérer seulement les tronçons d'étranglement ou de considérer tous les segments pouvant être affectés par ces problèmes. Cette orientation facilitera le travail des experts dans la préparation de leurs scénarios d'intervention.
- ❖ Dans une ville, on retrouve certaines conduites peu profondes qui ne coulent pas en charge selon le modèle hydraulique et dont la ligne piézométrique se retrouve près de la surface. Lorsque la ligne piézométrique demeure à l'intérieur de la conduite, le segment ne devrait être identifié à problème, même si la ligne piézométrique se retrouve à l'intérieur des limites définies pour les statuts d'intervention impératifs, souhaitables ou à surveiller. Cela est important, car, tant que la conduite n'est pas en charge, il n'y a aucun problème potentiel à identifier.
- ❖ Il faudrait permettre l'utilisation de paramètres différents dans l'évaluation de l'indice ligne piézométrique selon le type de réseau (pluvial, combiné, pseudo-séparatif et sanitaire) et/ou selon le secteur desservi (résidentiel, industriel). Selon les caractéristiques d'occupation du territoire et de réseau présent, les conséquences de refoulement diffèrent. Par exemple, les réseaux raccordés aux résidences doivent être considérés plus sévèrement que ceux non raccordés.
- ❖ Il faudrait évaluer l'opportunité d'inclure la fréquence de nettoyage dans cette sous-cote, car l'accumulation de dépôts dans la conduite peut entraîner des problèmes de capacité.

4.2.3.2 CIF contamination

L'indice « *Exfiltration* » devrait être plus important que l'indice *déversement*, car cela survient beaucoup plus souvent que les rejets des usagers. L'exfiltration est très importante dans le réseau sanitaire et il devient important de corriger ces types de défauts.

Les organisations municipales ont rarement de l'information portant sur l'infiltration/captage et l'exfiltration. Il est toutefois très important de viser à recueillir cette information précieuse par une campagne de relevés de données. Cette campagne permettrait d'obtenir les informations pertinentes pour évaluer adéquatement cet élément. L'historique des pluies antécédentes et la hauteur de la nappe phréatique par rapport à la position de la conduite sont les principaux éléments importants à relever.

Dans les développements futurs, il serait intéressant de regarder la possibilité de considérer certaines défectuosités obtenues par inspection télévisée et qui indiquent des conduites non étanches (ex : joints décalés, trous, joints ouverts de sévérité 5, etc.) en plus des infiltrations notées lors du relevés. Ces défectuosités ne devraient pas être considérées pour les conduites pluviales qui sont souvent construites non étanches pour drainer le fond de la tranchée.

4.2.4 Analyse de sensibilité – intégrité fonctionnelle

Le nombre d'itérations pour parvenir à un résultat appréciable se situant à quatre pour les indices de capacité hydraulique confirme le manque de connaissance portant sur l'évaluation des critères de décision quant à la comparaison de la ligne piézométrique et des événements de refoulement. Ces itérations confirment également la forte importance de cet indice. De plus, le fait que les résultats de la modélisation hydraulique n'ont pas été obtenus, aucune analyse de sensibilité n'a pu porter sur la contribution de l'indice de ligne piézométrique. La même conclusion a été appliquée à la CIF contamination, ce qui fait que l'analyse de sensibilité n'a pu être pratiquée sur la CIF.

4.2.5 Analyse des résultats – intégrité des infrastructures liées

4.2.5.1 CIL regards

L'état des regards reste un bon point pour l'évaluation des conduites d'égouts puisqu'elles sont liées directement. La cote relevée lors d'une inspection visuelle reste la seule information pertinente pour l'évaluation de la sous-cote CIL regard.

Dans une version future, il serait intéressant de réfléchir sur la considération de la longueur comme facteur pour évaluer l'importance accordée à la CIL regard sur l'état du segment. Plus le segment est court, plus l'importance des regards dans les coûts de remplacement est élevée. Il faudrait évaluer le coût de remplacement d'une conduite versus le coût de remplacement d'un regard pour déterminer les paramètres à considérer dans les calculs. Actuellement, la longueur des segments n'est pas considérée, ce qui fait que l'importance de la CIL regard est beaucoup trop forte pour les segments les plus longs.

4.2.5.2 CIL globale

La valeur de la cote se résume à l'état des regards. Toutefois, l'apport de l'état des puisards et d'une comptabilisation des coûts de réparations pourrait améliorer l'évaluation des accessoires.

4.2.6 Analyse des résultats, impact socio-économique

4.2.6.1 CI trafic

Le même constat que l'on retrouve au paragraphe 4.1.6.2 portant sur l'aqueduc s'applique à l'égout. C'est-à-dire, dans certains cas, le rôle de la rue est différent de l'achalandage de la chaussée.

4.2.6.2 CI environnement

La séparation des réseaux unitaires est une priorité énoncée par le ministère de l'environnement. Cette sous-cote permet d'augmenter la priorité donnée à ces conduites. Il serait intéressant d'approfondir la connaissance des réseaux en identifiant les conduites faisant partie des réseaux pseudo-séparatifs.

4.2.6.3 CI globale

Le fait de faire la moyenne des sous-cotes diminue l'effet que l'on veut donner à la CI environnement. Toutefois, en ajustant les paramètres, on arrive à donner la priorité souhaitée.

4.2.7 Analyse des résultats – cotes globales et arbre de décision

4.2.7.1 CGE, cote globale d'état

La pondération de l'état des accessoires est importante et ne doit pas tenir du hasard. Les paramètres utilisés semblent bien répondre aux attentes, c'est-à-dire que les segments détériorés, qui ont des accessoires aussi dégradés, ont été mis en priorité d'une façon adéquate. Il est très important que les paramètres soient choisis pour qu'une conduite en bon état, mais ayant des accessoires déficients, ne se retrouve pas dans le groupe des conduites mises en priorité.

4.2.7.2 CGEA, cote globale d'état ajusté

La classification fonctionnelle routière, reprise dans la cote d'impact socio-économique, est un élément considéré important dans l'analyse des segments d'égouts. La pondération de ce critère remplit sa mission, soit d'augmenter la priorité d'un segment déjà détérioré parce qu'ayant une conséquence plus grave à la rupture.

Il est très important que les paramètres soient choisis pour qu'une conduite en bon état, mais ayant de graves conséquences engendrées par une rupture, ne se retrouve pas dans le groupe des conduites mises en priorité.

4.2.7.3 Arbre de décision, intervention d'égouts

Aux endroits où l'on remarque des bas-fonds de sévérité forte et que le statut est impératif, on peut immédiatement proposer un remplacement. Toutefois, l'interprétation des niveaux d'eau pour en déduire des bas-fonds n'est pas concluante dans l'ensemble (réf. page 103).

Les conduites, situées à des endroits où l'excavation est tout simplement trop dispendieuse, doivent conserver la caractéristique *sans tranchée requise* tout au long du processus.

Il est important de souligner que l'arbre de décision, au niveau du SGI, propose des interventions pour corriger seulement des problèmes d'intégrité physique. Ainsi, il ne tient pas compte des défaillances fonctionnelles.

4.2.8 Analyse de sensibilité – cotes globales

La constitution des cotes globales et de l'arbre de décision n'a pris que quelques itérations pour être réalisée, à l'exception de la CIL. Ceci étant dû au fait que des résultats d'inspection des regards étaient pris en compte. Dans l'ensemble, cette pratique démontre l'adéquation de l'algorithme aux attentes des gestionnaires. De plus, l'analyse de sensibilité nous a permis de démontrer que la CIP et la CIF présente une sensibilité supérieure dans le calcul de la CGE. Cependant, la CIL et la CI ont un impact très faible sur la CGE et la CGEA. Ainsi, ceci confirme que les infrastructures liées du réseau d'égouts sont réellement secondaires dans la prise de décision.

4.2.9 Commentaires sur les données utilisées

4.2.9.1 Inspection télévisée

Les inspections télévisées des conduites d'égouts constituent la pierre angulaire de l'évaluation de l'état physique. Le positionnement des défectuosités sur le segment permet d'évaluer une densité localisée. Toutefois, cette précision n'est pas essentielle au calcul de la CIP structure. Également, les types de défectuosités doivent être définis avec rigueur afin d'assurer la constance des résultats et d'obtenir de l'information utilisable. Enfin, les relevés d'inspection ne couvrent pas l'ensemble des conduites de la ville. C'est pourquoi il nous faut compléter l'évaluation de l'intégrité physique à l'aide des données concernant le type de matériau et l'âge de la conduite.

4.2.9.2 Matériau, année, corrosivité du sol

Avec les inspections télévisées, il s'agit de l'information primordiale à recueillir qui permet de déterminer l'état physique des conduites avec une bonne précision. Ainsi, aux endroits où aucune inspection n'a été réalisée, on peut tout de même estimer le niveau de dégradation des conduites par l'âge et le type de matériau.

4.2.9.3 Modèle hydraulique

Pour identifier et localiser les endroits où le réseau connaît des problèmes fonctionnels, on peut obtenir ces informations par la compilation des plaintes des citoyens ou par l'appréciation des gestionnaires. Ainsi, nous pouvons avancer que le modèle hydraulique n'est pas essentiel pour identifier les endroits problématiques du réseau. Toutefois, le modèle hydraulique prend toute son importance dans la résolution des problèmes fonctionnels, par l'élaboration de plusieurs alternatives de solutions.

4.2.9.4 Données de configuration géométrique

Un haut niveau de précision de ces données n'est pas essentiel. Cependant, pour la structuration, il est nécessaire d'être constant et rigoureux à l'application de ces méthodes afin de permettre une évaluation adéquate des infrastructures.

4.2.9.5 Données appartenant au réseau de voirie

Ces données ont un apport important, principalement au niveau de l'analyse des impacts socio-économiques. Il faut souligner que ces dernières nécessitent une assignation à un segment intégré afin d'être disponibles au bon segment d'égout.

4.3 Voirie

4.3.1 Analyse des résultats – intégrité physique

4.3.1.1 CIP surface

Une restructuration des segments de chaussée, avec une longueur maximale de 300 mètres, devrait être respectée. Ceci permettrait de vérifier la validité des algorithmes actuels face à une répartition inégale des défectuosités sur un segment (une portion en bon état et une autre en mauvais état).

La considération des nids-de-poule n'est pas si importante puisqu'ils sont, en pratique, réparés au fur et à mesure qu'ils sont identifiés. Ils doivent alors compter comme des rapiécages. Toutefois, des villes plus importantes ou qui ont un programme d'entretien plus déficient devraient considérer cette information dans l'évaluation de la sous-cote CIP surface.

Le relevé visuel de chaussée devrait être effectué à tous les trois ans afin d'éviter d'avoir une différence trop importante entre l'état réel de la chaussée et les données présentes dans la base de données.

Les éléments principaux à retenir lors de l'élaboration d'un devis d'inspection sont les suivants :

- la différence entre un affaissement et un mauvais rapiéçage devrait être faite pour que les données soient associées à la sous-cote prescrite;
- une précision supplémentaire devrait être apportée pour la sévérité de certains types de défectuosité, telles la sévérité des fissures polygonales, la sévérité des fissures de centre, la sévérité des affaissements, etc.

La calibration du système pour cette sous-cote, considérant les défectuosités relevées, est adéquate et répond aux attentes.

L'algorithme de densité au niveau de la fissuration devrait être modifié dans une version future afin de prendre la densité maximale de fissuration sur le segment, plutôt que de prendre la moyenne de l'ensemble du segment. Cela pourrait régler une partie de la problématique des segments longs.

4.3.1.2 CIP bris

L'absence d'historique des rapiéçages dans la majorité des villes nord-américaines ne permet pas d'évaluer la croissance de ceux-ci. L'absence d'évaluation des coûts d'entretien par segment, combinée à l'absence d'historique des rapiéçages, ne permet pas de départager deux segments ayant eu des réparations multiples.

Les rapiéçages longitudinaux devraient faire partie d'une inspection pour compléter, de façon adéquate, la représentation des rapiéçages.

Il serait important de distinguer les rapiéçages déclenchés par une déficience de la chaussée de ceux déclenchés par des réparations d'aqueduc ou d'égouts. Ces derniers

ne démontrent aucune faiblesse de la chaussée et ne devraient pas être considérés comme une déficience de la chaussée.

4.3.1.3 CIP gel

L'évaluation des endroits susceptibles au gel devrait se faire en compagnie d'un employé de la ville pour pallier au manque de connaissance de l'expert technique en ce qui a trait à l'historique des chaussées.

L'évaluation de la susceptibilité au gel déduite des défectuosités à caractère « effet de gel » n'a pas été concluante, puisque la fissure longitudinale n'est pas, à elle seule, un indice sûr de la présence d'effet du gel.

4.3.1.4 CIP capacité portante

Lors des relevés subséquents, une somme d'efforts plus importante devrait être déployée pour identifier les endroits à visiter pour obtenir la capacité portante. Les segments où un circuit d'autobus est présent, il est important d'évaluer la capacité portante dans la voie par laquelle les autobus circulent.

L'évaluation de la capacité portante devrait être effectuée sur l'ensemble des rues de la ville afin d'être en mesure de considérer cette donnée pour tous les segments.

4.3.1.5 CIP globale

Les éléments de gel et de capacité portante devraient plutôt être des coefficients de pondération versus la CIP bris et la CIP surface qui sont vraiment des problèmes physiques. Le gel seul ou la capacité portante seule ne fait pas d'un segment qu'il est impératif. C'est plutôt lorsqu'un segment est très détérioré que la capacité portante et l'effet du gel entrent en ligne de compte, pour lui donner encore plus de poids.

Une segmentation des segments de chaussée doit être pratiquée pour que les résultats représentent mieux la réalité. Pour que les résultats représentent mieux la réalité, il est proposé que la longueur maximale des segments intégrés et des segments de chaussée ne dépasse pas 300 mètres (voir CIP bris et CIP surface).

4.3.2 Analyse de sensibilité – intégrité physique

Le nombre d'itérations pour parvenir à un résultat appréciable se situant à cinq pour la CIP surface confirme le manque de connaissance portant sur l'évaluation des critères de décision quant à la condition de surface déduite d'une inspection visuelle et à la fois la forte importance de cet indice. Cependant, le faible nombre d'itérations pour les autres critères de la CIP semble démontrer que ces aspects sont bien maîtrisés par les gestionnaires et que le système répond bien. De plus, l'analyse de sensibilité nous a permis de démontrer que ce qui dirige le plus les résultats de la CIP sont les résultats de l'inspection visuelle tenus en compte dans la CIP surface. Cependant, une variation des résultats occasionnée par l'information contenue dans la CIP bris est appréciable. Ce qui rend cette information non négligeable.

4.3.3 Analyse des résultats – intégrité fonctionnelle

4.3.3.1 CIF uni

L'attribut « Problème de confort au roulement » permet d'imposer un confort au roulement déficient non détecté par l'IRI ou bien l'uni.

Une analyse plus approfondie concernant la relation entre l'IRI et l'uni devrait être effectuée afin d'identifier les différents facteurs influençant la valeur de chacun dans un même segment. Pour que le relevé de l'IRI soit satisfaisant et comparable au relevé des défectuosités, les spécifications suivantes devraient être suivies :

- ❖ réviser le choix des classifications fonctionnelles, car l'ensemble des routes collectrices devraient être visitées, en plus des rues principales, secondaires et celles avec un circuit d'autobus;
- ❖ réviser le choix des voies à évaluer, car il faudrait toujours avoir les résultats de la voie carrossable la plus détériorée (centrale, multiples passes, etc.);
- ❖ avoir le choix de la valeur pour voies multiples (minimum, moyenne).

Il est important de considérer les soulèvements différentiels lors des relevés. Pour les缺陷osités pertinentes à relever, on devrait porter une attention particulière sur le soulèvement différentiel et faire un suivi plus étroit des rapiéçages. Ainsi, nous aurons une meilleure évaluation du confort au roulement déduit par l'uni.

4.3.3.2 CIF sécurité

Les occurrences d'accidents survenus sur le réseau routier de la ville doivent être tenues à jour. Une analyse plus approfondie des accidents survenus serait intéressante pour éliminer les accidents dont la cause ne dépend pas de la chaussée ni de sa condition.

L'intégration des résultats d'une étude des triangles de visibilité serait intéressante pour améliorer la qualité des résultats.

4.3.3.3 CIF globale

Les éléments de fluidité et de sécurité devraient plutôt être des coefficients de pondération versus la CIF uni qui relate vraiment des problèmes physiques. La fluidité seule ou la déficience de sécurité seule ne fait pas d'un segment qu'il est impératif.

4.3.4 Analyse de sensibilité – intégrité fonctionnelle

Le nombre d'itérations pour parvenir à un résultat appréciable se situant à cinq pour les indices d'uni confirme le manque de connaissance portant sur l'évaluation des critères

de décision quant à la comparaison des défauts de surface occasionnant un mauvais confort au roulement et l'IRI. Ces itérations confirment également la forte importance de cet indice. La même situation s'applique au niveau de la CIF sécurité. De plus, l'analyse de sensibilité nous a permis de démontrer que les résultats de la CIF uni influencent le comportement de la CIF. La non correspondance entre les défauts de surface et l'IRI se confirme dans l'analyse de sensibilité où l'on peut observer une fluctuation importante des deux critères dans le calcul de la CIF uni. Enfin, la CIF trafic n'a pas de poids significatif dans la décision.

4.3.5 Analyse des résultats – intégrité des infrastructures liées

4.3.5.1 CIL trottoir

Une modification de l'algorithme, rendant le calcul de la sous-cote en un état pondéré des trottoirs d'un segment de chaussée, permettrait une évaluation plus juste des accessoires. La numérisation des trottoirs permettrait d'augmenter la précision des résultats et de pondérer leur état selon les segments présents. L'algorithme devrait être modifié afin de ne pas considérer l'état des trottoirs ayant une longueur inférieure à 10 % de la longueur du segment.

4.3.5.2 CIL bordure

La même conclusion que celle des trottoirs s'applique, à la différence que les trottoirs s'avèrent une infrastructure plus importante en terme d'investissement et de planification. La numérisation des bordures permettrait d'augmenter la précision des résultats et de pondérer leur état selon les segments présents. L'algorithme devrait être modifié afin de ne pas considérer l'état des bordures ayant une longueur inférieure à 10 % de la longueur du segment.

4.3.6 Analyse des résultats – cotes globales et arbre de décision

4.3.6.1 CGE, cote globale d'état

La pondération de l'état des accessoires est importante et ne doit pas tenir du hasard. Les paramètres utilisés semblent bien répondre aux attentes du comité technique, c'est-à-dire que les segments détériorés qui ont des accessoires aussi dégradés ont un état global déficient.

Certains cas de boulevard achalandé peuvent devenir problématiques. Cela s'explique par le fait qu'au moment de l'inspection visuelle de la chaussée, la surface est en bonne condition. Cette condition artificiellement préservée est le résultat d'interventions ponctuelles à raison de rapiéçage en surface. Ainsi, pour des segments plus achalandés, il s'agirait de recueillir un historique d'interventions (rapiéçages) de façon régulière pour départager un segment sur lequel les investissements ponctuels sont nombreux. On pourrait même jusqu'à exiger une cueillette d'information beaucoup plus importante sur ces segments, puisque leur durée de vie utile est de beaucoup diminuée par un trafic soutenu. L'utilisation des courbes de dégradation, dans ce cas, pourrait être un atout important.

4.3.6.2 CGEA, cote globale d'état ajustée

La classification fonctionnelle routière reprise dans la cote d'impact socio-économique est un élément considéré comme étant important dans l'analyse des segments de chaussée. La pondération de ce critère remplit sa mission, c'est-à-dire augmenter la priorité d'un segment déjà détérioré, mais ayant une conséquence plus grave à la rupture.

4.3.6.3 Arbre de décision, intervention de voirie

Malgré l'information souvent incomplète sur les épaisseurs de matériaux granulaires et les épaisseurs de béton bitumineux, cela donne des résultats satisfaisants.

Une collecte de données sur les épaisseurs des couches de chaussée apporterait une précision plus grande. Toutefois, il s'agit d'une information qui relève beaucoup plus du projet que de l'analyse réseau.

4.3.7 Analyse de sensibilité – cotes globales

Les résultats des cotes globales du réseau routier ne sont pas étrangers à ceux observés en aqueduc et en égouts. En effet, la constitution des cotes globales et de l'arbre de décision n'a pris que quelques itérations pour être réalisée. Cette pratique démontre l'adéquation de l'algorithme aux attentes des gestionnaires. De plus, l'analyse de sensibilité nous a permis de démontrer que la CIP et la CIF présente une sensibilité supérieure dans le calcul de la CGE. Cependant, la CIL et la CI ont un impact très faible sur la CGE et la CGEA. Ainsi, ceci confirme que les infrastructures liées du réseau routier sont réellement secondaires dans la prise de décision.

4.3.8 Commentaires sur les données utilisées

4.3.8.1 Relevé visuel de chaussées

Les relevés visuels exécutés par un sous-traitant étaient basés sur des critères standards énoncés par le ministère des Transports du Québec, avec des spécifications précises quant aux types de défectuosités à relever, la sévérité des défectuosités à considérer, etc.

Les relevés visuels devraient être faits aux 3 ans.

4.3.8.2 Relevé visuel des bordures et trottoirs

Une cote globale pour l'ensemble du segment de bordure/trottoir est suffisante pour les besoins de l'analyse.

4.3.8.3 Évaluation de la capacité portante

Une uniformité des coefficients de transport lourd et du DJMA s'est avérée une lacune dans l'évaluation de la capacité portante, rendant les résultats à certains endroits non représentatifs.

4.3.8.4 Relevé de l'IRI d'été

Le relevé de l'IRI d'hiver n'a pas eu lieu, ce qui empêcha de tirer des conclusions sur l'utilisation de cette donnée pour évaluer l'effet du gel en milieu urbain.

Des directives précises doivent être formulées dans le devis de relevé pour s'assurer de qualité des informations recueillies. Ainsi, une attention particulière doit être portée à tout ce qui a trait aux voies analysées, des types de défauts, de la sévérité des défauts.

4.3.8.5 Susceptibilité au gel

L'évaluation de la susceptibilité au gel doit être réalisée par un expert accompagné d'un technicien de la ville pour éviter des erreurs dans la localisation des endroits gélifs.

4.4 Intégrateur

4.4.1 Analyse des résultats – bilan intégré

L'obtention de la donnée principale, soit la proportion du segment contenu dans le segment intégré, est difficile. Pour y parvenir, on doit faire appel à une analyse spatiale par un système d'information géographique (SIG). Toutefois, un moyen rapide, mais qui diminue la précision pour les segments chevauchant à parts égales deux segments intégrés, est d'affecter complètement celui-ci au segment intégré qui le chevauche sur la majorité de sa longueur.

Il est important de bien expliquer la représentation des cotes intégrées pour que les gestionnaires n'interprètent pas mal les résultats obtenus, et ce, dans l'ordre suivant :

- ❖ expliquer le principe de statut minimum et de cote pondérée;
- ❖ présenter la cote d'intégrité physique intégrée;
- ❖ présenter la cote d'intégrité fonctionnelle intégrée;
- ❖ présenter la cote globale d'état intégrée.

Dans une version future, l'évaluation d'une cote intégrée donnant l'état des infrastructures souterraines permettrait de visualiser rapidement si l'état du segment intégré est défectueux en surface, en profondeur ou les deux.

4.4.2 Analyse de sensibilité – bilan intégré

Les résultats des cotes globales intégrées ne sont qu'une continuité de ceux obtenus individuellement pour chacun des réseaux. En effet, la constitution des cotes globales n'a pris que quelques itérations pour être réalisée. Cette pratique démontre l'adéquation de l'algorithme aux attentes des gestionnaires. Contrairement à ce que l'on a pu voir dans chacun des réseaux, l'analyse de sensibilité nous a permis de démontrer que la CIPI et la CIFI présente une sensibilité réduite dans le calcul de la CGEI. Dans un même ordre d'idées, la CILI et la CII ont un impact similaire à ce que l'on a vu antérieurement dans les analyses individuelles.

4.4.3 Analyse des résultats – scénario d'intervention réseau

4.4.3.1 Aqueduc – CIF (cote d'intégrité fonctionnelle)

Pour mesurer quel est impact de chacune des solutions apportées, il est intéressant de produire une comparaison des résultats obtenus de la situation actuelle par opposition aux résultats obtenus après intervention. Une présentation des écarts par pallier hydraulique ajoute une dimension intéressante.

4.4.3.1.1 Égouts – CIF (cote d'intégrité fonctionnelle)

Dans le cas où le modèle hydraulique n'est pas suffisamment fiable pour élaborer et comparer les solutions aux problèmes fonctionnels, il est suggéré d'assumer que les correctifs rétablissaient, pour les conduites touchées, la ligne piézométrique au niveau de la conduite, et ainsi, éliminer des risques de refoulement. Une présentation des écarts entre la situation actuelle et la situation simulée par bassin versant ajoute une dimension intéressante.

4.4.3.2 Aqueduc, égouts – classe d'intervention finale, réseau

Un large éventail de classes d'intervention est très important pour s'assurer que les différents cas possibles soient couverts.

4.4.4 Analyse des résultats – scénario d'intervention global

4.4.4.1 Contraintes spatiales

Il est intéressant de voir à quel point cet algorithme améliore la précision de l'analyse d'intégration.

Il est important de noter que l'obtention de la distance séparant les conduites du centre de la chaussée a occasionné des efforts importants et renferme encore certaines des fonctions. La fonction des contraintes spatiales rencontre certaines limites pour traiter les conduites qui sont perpendiculaires au segment intégré, soit celles qui chevauchent plusieurs segments intégrés en diagonal, les conduites hors chaussée ou les conduites qui chevauchent le centre de la chaussée d'un même segment intégré. Pour l'ensemble de ces conduites, les distances sont difficiles à évaluer. Une façon de simplifier le travail, mais qui diminue considérablement la précision, consiste à considérer la position de l'ensemble des segments au centre de la chaussée.

Dans une version ultérieure, il serait intéressant de produire une image présentant la position relative des conduites entre elles, pour visualiser quelles conduites sont réellement considérées dans l'analyse de contraintes spatiales.

4.4.4.2 Arbre de décision intégré

La prémissse de départ adopté dans le cadre de cette recherche était que l'on peut procéder à la réfection d'une conduite d'aqueduc ou d'égouts en ne considérant que son état physique, et ce, sans attendre la réfection d'un réseau adjacent. Cette décision a engendré le remaniement de l'arbre de décision et a eu pour effet de faire ressortir les endroits où on pouvait procéder à des réhabilitations sans tranchée, c'est-à-dire d'ajouter un critère aux endroits où la chaussée était en bon état.

Un autre critère a été ajouté pour suggérer un remplacement systématique des conduites en fonte grise ou en fonte ductile assises dans un milieu corrosif, aux endroits où l'on prévoyait intervenir sur la chaussée.

L'intégration des différentes séquences de priorisation l'algorithme a requis des efforts importants. Dans une version subséquente, un effort de simplification devra être déployé.

Les travaux planifiés par les compagnies d'utilités publiques ne sont pas considérés directement dans l'arbre de décision intervention intégré. L'information est présente dans le système et le choix est libre au gestionnaire d'imposer ou non une classe d'intervention pour tenir compte de cette contrainte. D'ailleurs, les classes d'intervention proposées par l'arbre de décision peuvent être modifiées ou imposées par le gestionnaire pour pallier un manque du logiciel ou de l'algorithme.

4.4.4.3 Coûts

L'évaluation des coûts demeure une estimation budgétaire pouvant être engendrée par les travaux. Un compromis est nécessaire entre un nombre très grand de paramètres

pour couvrir tous les types de coûts qui peuvent entrer dans une réfection d'infrastructures municipales. Toutefois, le système permet à l'utilisateur d'imposer un coût concernant les travaux d'aménagement, d'installation de luminaires ou d'enfouissement de services publics.

4.4.4.4 Bénéfices

4.4.4.4.1 Aqueduc, égouts

Une attention particulière doit être portée sur le fait que l'utilisateur est en mesure d'imposer une intervention moins bénéfique que celle proposée par le système. Aussi, la valeur générée par le système, pour cette nouvelle intervention, n'est pas nécessairement conforme à l'amélioration réellement apportée par la nouvelle intervention.

Un compromis doit être fait entre la quantité d'information gérée dans le scénario d'intervention réseau et la précision de la cote simulée par le système. En effet, pour que les cotes simulées arrivent à la même précision que celle qu'on obtient par les SGI, il faudrait gérer beaucoup plus d'information. Toutefois, l'expérience démontre que la perte de précision n'est pas significative.

Le choix des valeurs pour les cotes simulées doit être judicieux, afin de distinguer l'apport d'une réhabilitation en fonction de l'apport d'un remplacement. Dans le cas contraire, l'avantage réside seulement par rapport au coût de la technique. Ainsi, une réhabilitation ne restaure pas complètement la conduite, ce qui lui vaut une cote simulée plus faible. Par conséquent, le coût est moindre.

Les bénéfices des segments devraient être assignés au segment où la cause a été identifiée et où des travaux seront effectués. Cela permettra d'assigner les bénéfices au bon segment.

4.4.4.2 Voirie

Une attention particulière doit être portée sur le fait que l'utilisateur est en mesure d'imposer une intervention moins bénéfique que celle proposée par le système. Aussi, la valeur générée par le système, pour cette nouvelle intervention, n'est pas nécessairement conforme à l'amélioration réellement apportée par la nouvelle intervention.

Un compromis doit être fait entre la quantité d'information gérée dans le scénario d'intervention réseau et la précision de la cote simulée par le système. En effet, pour que les cotes simulées arrivent à la même précision que celle que l'on obtient par les SGI, il faudrait gérer beaucoup plus d'information. Toutefois, l'expérience démontre que la perte de précision n'est pas significative.

Puisque l'aspect fonctionnel n'est pas géré par un système de modélisation, il est du ressort de l'utilisateur de spécifier si l'aspect fonctionnel est corrigé par l'intervention en question.

4.4.4.5 Mise en priorité des segments intégrés

La mise en priorité, en fonction du statut d'intervention de la CGEA, et ensuite par la CGEA elle-même, ne répond pas aux attentes puisque des endroits où des scénarios d'intervention réseau sont proposés se retrouvent en queue de liste.

Il est très important de prendre note qu'il existe très souvent une enveloppe budgétaire pour les travaux d'aqueduc et d'égouts et une autre enveloppe pour les travaux de voirie seuls. Ceci vient compliquer les choses quand on traite de toutes les infrastructures à la fois.

La mise en priorité de l'aspect fonctionnel comporte également certaines complications. En effet, les travaux d'égouts doivent être divisés pour être effectués de l'aval vers l'amont pour ne pas engendrer de refoulement, et ce, peu importe l'état physique. Une

réflexion s'impose sur la détermination de l'apport d'une phase appartenant à un scénario d'intervention par rapport à une autre phase au niveau fonctionnel. Ainsi, en évaluant l'amélioration de l'aspect fonctionnel par une phase pour un secteur donné, nous pourrions placer les priorités plus facilement.

Un point qui a été négligé lors de l'expérimentation est l'utilisation du *bénéfice* et du *ratio coût/bénéfice* dans la mise en priorité. Ces valeurs peuvent devenir des indices très intéressants de l'amélioration des réseaux et peuvent être utilisées pour la mise en priorité. Les valeurs de *bénéfice* et de *ratio coût/bénéfice* étant très précises, une mise en priorité selon cette valeur est difficile, car les nuances entre les segments intégrés sont inexistantes. Toutefois, il faudrait voir à améliorer la situation en créant, un peu comme les statuts d'intervention, des intervalles de valeurs pour faciliter la mise en priorité.

Un autre point sur lequel une réflexion doit être faite est la définition du ratio coût/bénéfice. Dans la version actuelle du système, il s'agit de l'amélioration de la cote. Il faudrait ajouter à cela l'économie de coûts engendrée par une stabilisation de la détérioration des infrastructures.

4.4.4.6 Cadre budgétaire

Le cadre budgétaire dans la version actuelle du système est un ensemble de montants annuels qui permet aux gestionnaires de simuler des cycles d'investissements pour les années ultérieures.

L'expérimentation nous a permis de constater que dans la majorité des organisations municipales, il n'existe pas une enveloppe unique pour l'ensemble des travaux, mais plutôt une pour les travaux d'aqueduc et d'égouts et une autre pour les travaux de voirie seuls. Il serait intéressant de réfléchir sur cet aspect pour identifier quelle est la valeur ajoutée de séparer aussi les cadres budgétaires.

4.4.5 Analyse des résultats – plan directeur intégré

4.4.5.1 Regroupement des segments intégrés

Il n'est pas nécessairement optimal de procéder à des travaux en ne considérant que les limites des segments intégrés. Ainsi, on veut rendre logique la séquence de travaux à réaliser pour que le plan directeur intégré soit cohérent.

Le regroupement des segments intégrés a permis de visualiser les projets tels qu'ils sont présentés dans un plan triennal d'immobilisations (PTI).

Les principes automatiques que le système adopte lors du regroupement des segments intégrés (retenir l'année la plus récente, conserver les interventions associées dans le scénario d'intervention global, conserver les coûts calculés dans le scénario d'intervention global) correspondent en grande partie aux attentes. Le système permettant d'imposer une année de réalisation, une intervention et un coût, cela laisse toute la latitude au gestionnaire pour compléter son plan directeur intégré.

Le système identifiant également les raisons pour lesquelles le projet est mis en priorité (liste des sous-cotes ayant un statut d'intervention *impératif* ou *souhaitable*, présence d'un scénario d'intervention réseau), cela est un apport très grand à l'information disponible pour justifier un projet.

4.5 Observations générales

En général, l'expérimentation de l'outil d'aide à la décision s'est réalisée dans un nombre d'itérations acceptable. Certains aspects de l'évaluation de l'état ont demandé un approfondissement et une réflexion plus étendue. Il est à noter que la flexibilité des paramètres a permis que les algorithmes répondent aux besoins. Il s'agissait, en fait, de prendre le temps de bien identifier les valeurs limites et les facteurs de pondération qui rendraient le résultat acceptable pour les membres du comité technique.

Les données disponibles pour l'expérimentation ont rempli les exigences pour évaluer adéquatement la majorité des algorithmes du système. De ce lot de données, quelques-unes se sont démarquées quant à leur apport dans le processus de mise en priorité, démontré par l'analyse de la sensibilité. À commencer par les caractéristiques intrinsèques des infrastructures à l'étude, soit l'âge, le matériau, les dimensions, l'importance fonctionnelle. Ces données permettent de bien établir les bases du plan d'intervention. À celles-ci s'ajoutent certaines données d'état qui améliorent la précision de l'évaluation. On parle ici de l'historique des événements (bris d'aqueduc, refoulements) et de relevés spécialisés (inspection visuelle de chaussée, inspection télévisée de conduites d'égouts). En outre, il est mis en évidence que l'état des infrastructures liées compte pour très peu dans la prise de décision.

CONCLUSION

Ce mémoire a permis le développement et la mise à l'essai d'un Système intégré d'aide à la décision (SIAD) en infrastructures urbaines avec, comme résultat final, la présentation d'un plan directeur intégré de réfection des infrastructures d'aqueduc, d'égouts et de voirie. De plus, il a permis le développement d'une démarche complète de gestion des réseaux, depuis l'évaluation des données d'infrastructures jusqu'à la production du plan directeur intégré de réfection. La démarche utilisée, ainsi que le SIAD développé dans le cadre du mémoire, permettront aux gestionnaires municipaux d'approfondir et de partager la connaissance de l'état de leurs réseaux. Ils pourront raffiner leurs critères de décision pour en arriver à établir, de façon optimale, un plan directeur intégré de réfection sur un horizon plus grand qu'auparavant.

En plus du développement du système d'aide à la décision ayant servi à produire le plan directeur intégré de réfection, le travail effectué tout au long du mémoire a permis de raffiner l'ensemble des activités à réaliser et de mieux structurer la démarche. Cette dernière constitue l'un des grands bénéfices de ce mémoire et devient le livre de bord que recherche toute municipalité, du Québec ou d'ailleurs, pour mettre en place un programme de gestion des infrastructures permettant de produire ultimement un plan directeur intégré de réfection. L'utilisation d'une telle démarche, ayant déjà fait ses preuves dans une ville de 75 000 habitants, permet de diminuer grandement les coûts d'implantation d'un tel programme, d'accélérer la réalisation du projet et d'avoir accès à l'expertise acquise, tout en diminuant grandement le niveau de risques pour la municipalité.

Il a été prouvé que la production d'un plan directeur intégré de réfection des réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie constitue un exercice très complexe, voire impossible à réaliser sans l'adoption d'une démarche structurée appuyée par des outils informatiques intégrés. Il est illusoire qu'une ville se lance dans un projet de cette nature sans l'utilisation d'une démarche structurée de gestion des infrastructures ayant fait ses preuves. Les nombreuses embûches qu'il est habituel de rencontrer tout au long du projet, et les efforts à déployer pour les résoudre, confèrent un niveau de risque

très élevé à ce type de projet si aucune démarche structurée n'est utilisée. Le succès d'un tel projet réside dans la qualité des données descriptives, la qualité de la structuration des données géométriques et la qualité des règles de connaissance du système d'aide à la décision, facilitant la traduction de l'état des infrastructures sous forme de cotes et sous-cotes, tout en considérant ses différents aspects.

La planification intégrée des travaux majeurs pour une période de plusieurs années engendre des économies à plusieurs niveaux, tels que :

- ❖ en ce qui concerne les travaux d'entretien, les gestionnaires, en connaissant les endroits et le type de réfection prévu au cours des prochaines années, sont alors en mesure d'ajuster les programmes d'entretien qui permettront d'assurer le bon fonctionnement des ouvrages au meilleur coût. Les économies ainsi réalisées permettront de dégager des sommes d'argent qui pourront être investies à des endroits stratégiques, afin de prolonger la durée de vie utile de certaines infrastructures et de repousser les travaux majeurs de celles-ci à une date ultérieure que celle prévue initialement.
- ❖ à propos de la production d'eau potable, l'état du réseau de distribution a une incidence directe sur le coût de traitement de l'eau, car plus le réseau est en mauvais état (fuites nombreuses), plus les volumes d'eau à traiter sont importants. Par conséquent, plus les coûts de production augmentent. Le même principe s'applique aux réseaux d'égouts.
- ❖ du point de vue de la gestion du risque, la planification des interventions basée sur la connaissance de l'état des infrastructures permettra de prendre les décisions pour maintenir le risque à un niveau considéré tolérable par les décideurs. La diminution des travaux réalisés en urgence permettra d'économiser des sommes importantes, tout en assurant un service de qualité à la communauté.

En conclusion, nous affirmons que ce mémoire a permis d'optimiser les activités de la démarche de gestion intégrée des infrastructures qui, combinée à l'utilisation efficace

d'un système d'aide à la décision pour la réalisation d'un plan directeur intégré, génère des bénéfices importants pour une organisation municipale. Ces bénéfices se situent au niveau de la minimisation des coûts de collecte de données pour la production du plan directeur et au niveau de la minimisation des coûts de réfection pour assurer la pérennité des infrastructures.

Ainsi, pour les infrastructures de la ville à l'étude, soit la Ville de Sainte-Foy, les gestionnaires possèdent maintenant une connaissance structurée, pouvant être diffusée et partagée dans son organisation et assurant aussi l'intégration et l'optimisation des réseaux dans la planification des travaux de réfection. Non seulement la Ville de Sainte-Foy bénéficie des avantages qui découlent des produits développés lors de la présente étude, mais toutes les villes nord-américaines ayant un objectif similaire de gestion pourront également y avoir accès. En quelque sorte, la démarche développée dans le cadre de ce mémoire servira de pilier technologique dans ce domaine.

RECOMMANDATIONS

Ce mémoire se voulait une analyse exhaustive de l'ensemble du processus permettant d'élaborer un plan directeur, depuis la donnée jusqu'à la liste des travaux d'infrastructures à réaliser. Ceci a permis de couvrir la majorité des aspects concernant cette démarche. Avec l'expérience acquise, il est possible de retenir que les activités nécessaires et de simplifier le processus. De ce fait, il est souhaitable que la réflexion se poursuive avec la réalisation de d'autres projets utilisant une démarche perfectionnée et également adaptée aux besoins des organisations de plus petites tailles.

Pour pallier à certaines lacunes dans l'établissement de l'état des infrastructures, des améliorations doivent être apportées. Ainsi, l'algorithme permettant d'évaluer l'état structural d'une conduite d'égout devrait être révisé. Sur ce point, les initiatives des institutions comme le WRc devraient être étudiées et adaptées au contexte nord-américain.

L'amélioration de la connaissance par rapport au rythme de dégradation et des courbes de durée de vie devrait permettre d'évaluer plus adéquatement les infrastructures n'ayant pas d'historique d'inspection ou de maintenance. Il s'agirait de déduire l'état actuel en fonction de l'âge de l'infrastructure, selon la famille de comportement correspondante. Cet aspect devra être approfondi selon les études poursuivies par le CNRC et diverses autres institutions qui travaillent à définir des méthodes pour établir le rythme de dégradation des réseaux souterrains.

Les courbes de durée de vie devraient également être mises à profit lors de la sélection du type d'intervention à appliquer. En effet, la durée de vie restante peut devenir un critère intéressant dans la définition de la stratégie d'intervention. De ce fait, les scénarios d'intervention suggérés par le système pourraient être optimisés et, du même coup, refléter plus adéquatement le raisonnement des gestionnaires, ceux-ci tenant compte de la durée de vie restante, du niveau de service visé et des contraintes budgétaires existantes.

La sélection du type d'intervention proposé par le système devrait pouvoir tenir compte d'une multitude de critères et être ajustable pour chacun des environnements d'implantation. Ainsi, une définition plus flexible des règles de l'arbre de décision devrait être disponible.

Le critère relatif à l'impact socio-économique devrait être conservé puisqu'il s'agit d'un aspect ayant une popularité grandissante dans le processus de prise de décision. Les critères à considérer dans l'impact socio-économique – et plus près de nous de l'analyse de risques – devront être incorporés dans la prise de décision. Notamment, des études sont faites sur les coûts indirects d'un dysfonctionnement ou d'un projet d'infrastructures.

Une des composantes finales du système est l'optimisation des résultats du SIAD, qui détermine les meilleures stratégies de réfection à effectuer aux meilleurs coûts. À cet égard, il existe deux types d'optimisation : «la vraie optimisation et l'optimisation par heuristiques». C'est ce que nous retrouvons dans l'article «From Ranking to True Optimisation, Moderators Report» (Lyton, 1985). La vraie optimisation réfère à l'utilisation des mathématiques pour résoudre des problèmes tels qu'optimiser le rapport coût/bénéfice. L'approche par heuristique utilise des arbres de décision pour trouver la meilleure solution possible. L'approche préconisée dans le présent projet est l'approche par heuristiques. Cette approche a été utilisée à priori pour sa simplicité. Dans la première portée du projet, la priorisation des segments intégrés sera basée sur l'état des infrastructures au temps présent : les états physique et fonctionnel actuels des réseaux. Les segments intégrés seront priorisés et les années de réalisation seront déterminées en fonction des budgets disponibles. L'optimisation sera effectuée en choisissant le meilleur scénario global d'intervention, soit celui qui a le meilleur rapport coût du scénario/bénéfice (amélioration de la cote moyenne pondérée des réseaux) (Bergeron et Curodeau, 1998).

Lors d'une portée subséquente, l'approche par heuristiques sera encore utilisée, mais la priorisation des segments intégrés sera basée sur l'état futur des infrastructures sur plusieurs années. Les courbes de dégradation seront alors utilisées pour prédire les

états physique et fonctionnel des réseaux. L'optimisation sera effectuée de la même façon que l'option précédente. Ultimement, l'approche par optimisation réelle pourra être utilisée. Cette approche nécessitera au préalable l'identification de toutes les stratégies possibles en fonction de la dégradation des infrastructures. Des matrices d'optimisation devront être montées en considérant les courbes de dégradation de tous les segments des réseaux et une série de variables (stratégies d'intervention, cycle de vie, coûts, budgets, contraintes diverses, etc.). Des algorithmes d'optimisation, tels que la programmation linéaire, seront utilisés pour résoudre les équations de la matrice et optimiser le rapport coût/bénéfice. Cette dernière approche donne théoriquement les meilleurs résultats. Elle est cependant très coûteuse, requiert des ordinateurs très puissants et est très fastidieuse à utiliser. Une analyse coût/bénéfice devra être effectuée pour déterminer si cette approche mérite d'être utilisée.

La problématique de détérioration des infrastructures publiques ne se limitant pas aux réseaux d'aqueduc, d'égouts et routiers, une veille devrait être faite sur l'application de ce processus d'élaboration de plan directeur aux autres domaines. Citons comme exemple le travail fait dans le domaine des ponts et ouvrages d'art, des bâtiments et des utilités publiques.

Le monde de la géomatique est une science en constante évolution. Les développements dans ce domaine sont nombreux et plusieurs applications peuvent être transposées à la gestion intégrée des infrastructures urbaines. Le système développé dans le cadre de cette étude offre présentement une interaction minimale avec les SIG. Il serait approprié d'augmenter cette interaction pour profiter des nombreuses possibilités qu'offrent les SIG, tant en ce qui concerne la diffusion de l'information, la facilité de saisie que de l'analyse complexe combinant les données spatiales avec les règles de décision conventionnelles.

ANNEXE 1

Liste des propriétés analysées pour chacun des réseaux

Les listes suivantes exposent tous les attributs ou groupes d'attributs ainsi que la structuration de chacun de ceux-ci. Les attributs relatifs à chacune des propriétés ont été priorisés afin de permettre au système de pouvoir fonctionner avec le minimum de données. À cet égard, les attributs strictement nécessaires ont été mis en gras. (Curodeau, 1999)

1.1 Réseaux d'aqueduc

Cote d'intégrité physique (CIP)

- ❖ **CIP_{bris}** : historique des bris, année, coûts et bilan hydraulique sectoriel;
- ❖ **CIPépaisseur** : épaisseur résiduelle de la conduite (métal);
- ❖ **CIP_{matériaux}** : matériau (types, année d'installation, anodes et sols);
- ❖ **CIP_{environnement}** : facteurs environnementaux (profondeur; tranchées, écoulement de l'eau).

Facteurs qui influencent les sous-cotes : classification fonctionnelle et importance des secteurs

Cote d'intégrité fonctionnelle (CIF)

- ❖ **CIF_{capacité}** : capacité hydraulique des conduites (balancement hydraulique), diamètre effectif et historique des problèmes (manque de pression et de débit, BF inadéquate);
- ❖ **CIF_{qualité}** : qualité de l'eau (temps de séjour), historique des problèmes de qualité (eau colorée, turbidité goût), écoulement de l'eau et bilan bactériologique sectoriel.

Facteur qui influence les sous-cotes : importance des secteurs

Cote des infrastructures liées (CIL)

- ❖ **CIL_{bornes}** : dégradation des bornes fontaines, marque, modèle et année, entretien d'hiver et historique des coûts de réparations;
- ❖ **CIL_{vannes}** : dégradation des vannes, marque et modèle, historique des coûts de réparations;
- ❖ **CIL_{entrées}** : matériau, écoulement de l'eau et année d'installation.

Cote des impacts socio-économiques (CI)

- ❖ **CI_{réclamations}** : historique des coûts de réclamations dues à la qualité esthétique de l'eau, au manque de pression et de débit et aux inondations relatives aux bris);
- ❖ **CI_{nombre}** : nombre d'usagers (diamètre);
- ❖ **CI_{temps}** : temps d'intervention (profondeur, présence d'utilités publiques);
- ❖ **CI_{trafic}** : trafic routier (classification fonctionnelle des chaussées et DJMA).

1.2 Réseaux d'égouts

Cote d'intégrité physique (CIP) (manuel de normalisation du CERIU)

- ❖ CIP_{bris} : historique des réparations, année, coûts;
- ❖ CIP_{structure} : **dégradations structurales (étendue et sévérité)**;
- ❖ béton, ciment amiante, grès, plastique : corrosion/érosion, déformation, fissuration et trou;
- ❖ briques : état général du briquelage;
- ❖ métal : trou.

Facteurs aggravants :

- joints décalés et ouverts (tous les types sauf métal et brique);
- raccords pénétrants : nombre;
- racines : sévérité;
- infiltration ou exfiltration : sévérité;
- présence de vides : longueur;
- ❖ CIP_{épaisseur} : épaisseur résiduelle de la conduite (métal);
- ❖ CIP_{matériau} : **matériau (types, année d'installation, anodes et sols)**;
- ❖ CIP_{environnement} : facteurs environnementaux (perte de sol, profondeur, tranchées, gel, égouts corrosifs, fréquence de nettoyage annuel).

Facteur qui influence les sous-cotes : classification fonctionnelle

Cote d'intégrité fonctionnelle (CIF)

- ❖ CIF_{capacité} : **capacité hydraulique des conduites (simulation) et historique des problèmes** (pente, conduites en charge, refoulements);
- ❖ CIF_{contamination} : déversements et exfiltrations contaminés.

Facteur qui influence les sous-cotes : importance des secteurs

Cote d'états des infrastructures liées (CIL)

- ❖ CIL_{regards} : dégradation des regards, entretien et historique des coûts de réparations;
- ❖ CIL_{puisards} : dégradation des puisards, entretien et historique des coûts de réparations);
- ❖ CIL_{raccordements} : dégradation des raccordements, matériau et année d'installation.

Cote des impacts socio-économiques (CI)

- ❖ CI_{réclamations} : historique des coûts de réclamations dues aux affaissements et aux refoulements;
- ❖ CI_{temps} : temps d'intervention (profondeur, présence d'utilités publiques);
- ❖ CI_{trafic} : trafic routier (classification fonctionnelle des chaussées, DJMA);
- ❖ CI_{environnement} : égouts unitaires ou pseudo-séparés à problèmes, raccords indésirables (captage et autres).

1.3 Réseau de voirie

Cote d'intégrité physique (CIP)

- ❖ CIP_{bris} : historique des bris de chaussées (surface, type, année et coûts);
- ❖ CIP_{surface}¹ : état de la surface (étendue et sévérité);
- ❖ fissuration : types principaux de fissuration;
- ❖ ornières : longueur et profondeur des ornières (petit et grand rayons);
- ❖ soulèvements différentiels : longueur des soulèvements;
- ❖ ondulations : longueurs des ondulations à ondes courtes;
- ❖ défauts de l'enrobé : désenrobage et arrachement;
- ❖ perte de revêtement : perte ponctuelle de revêtement (nids-de-poule et pelade).

Facteurs aggravants :

- cours d'eau: drainage des cours d'eau de ruissellement;
- couronne: état du profil transversal;
- accessoires : pavage brisé autour des accessoires;
- joints : état des joints (revêtements en béton seulement);
- ❖ CIP_{gel} : susceptibilité au gel (dégradations pertinentes) ou différence entre l'IRI d'été et d'hiver;
- ❖ CIP_{capacité} : capacité structurale de la chaussée ou évaluation selon la détresse mécanique.

Facteur qui influence les sous-cotes : classification fonctionnelle

Cote d'intégrité fonctionnelle (CIF)

- ❖ CIF_{uni} : confort au roulement par le profil longitudinal (IRI), par les déformations de la surface (dégradations pertinentes) et les problèmes de confort au roulement (plaintes et requêtes);
- ❖ CIF_{fluidité} : fluidité de la circulation (problèmes de congestion) et délais théoriques et réels (modèle mathématique);
- ❖ CIF_{sécurité} : dangers potentiels, problèmes (plaintes et requêtes) et historique des accidents.

Facteur qui influence les sous-cotes : classification fonctionnelle

Cote des infrastructures liées (CIL)

- ❖ CIL_{bordure} : dégradations de la bordure , hauteur par rapport à la chaussée (présence de stationnement) et coût des réparations;
- ❖ CIL_{trottoir} : dégradations du trottoir, pente transversale, hauteur par rapport à la chaussée (présence de stationnement) et coût des réparations;
- ❖ CIL_{piste cyclable} : dégradations de la piste cyclable sur chaussée et coût des réparations;

- ❖ CIL_{fossés} : obstruction au drainage et coût des entretiens;
- ❖ CIL_{ponceaux} : dégradation des ponceaux, historique des débordements et coût des entretiens.

Cote des impacts socio-économiques (CI)

- ❖ CI_{réclamations} : historique des coûts de réclamations dues aux dégradations de voirie et aux accidents;
- ❖ CI_{nombre} : nombre d'usagers qui sont affectés (DJMA et classification fonctionnelle des chaussées).

ANNEXE 2

Structure de cotes pour chacun des réseaux

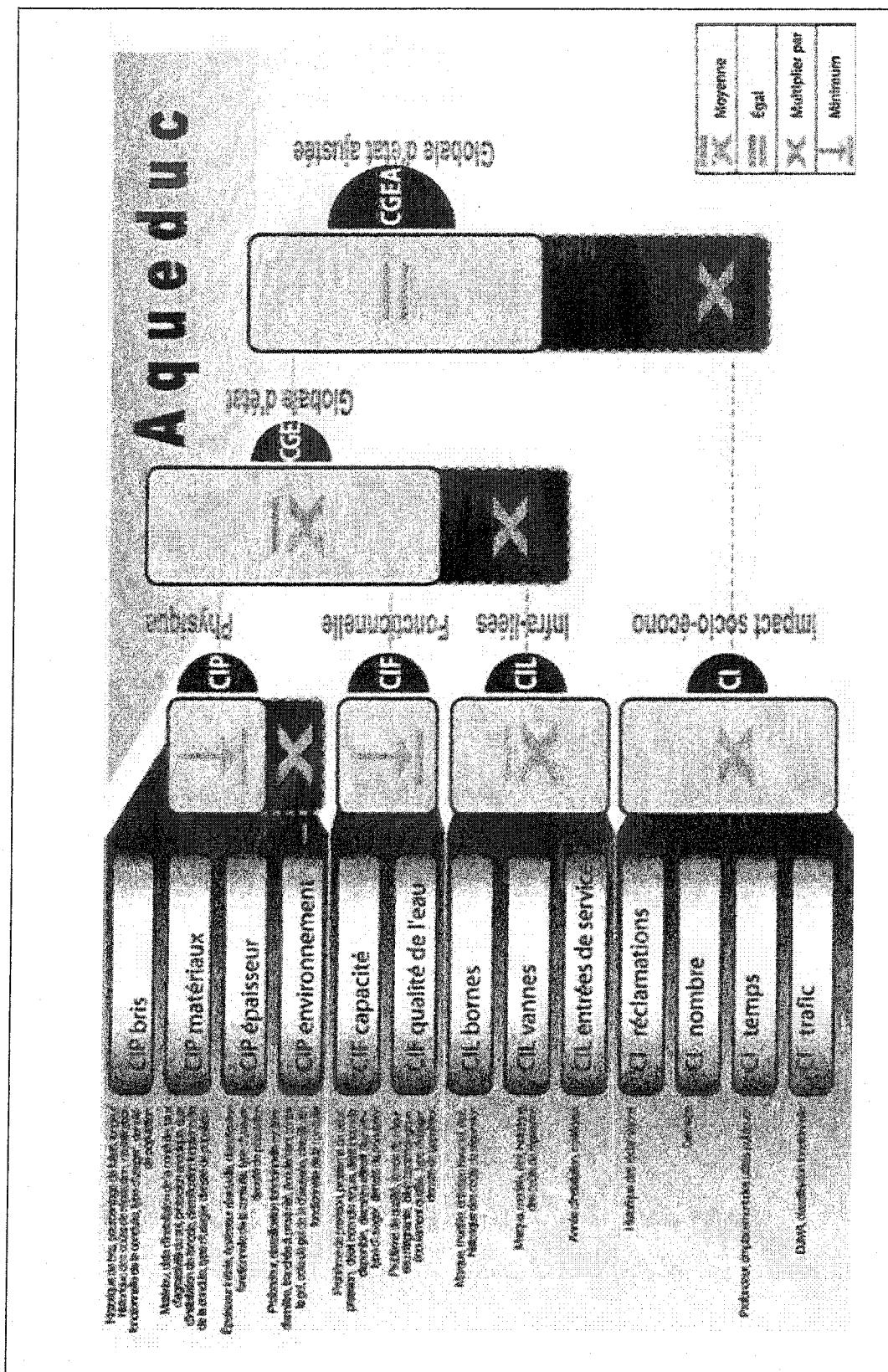


Figure 1 Structure de cotes pour l'évaluation de l'aqueduc

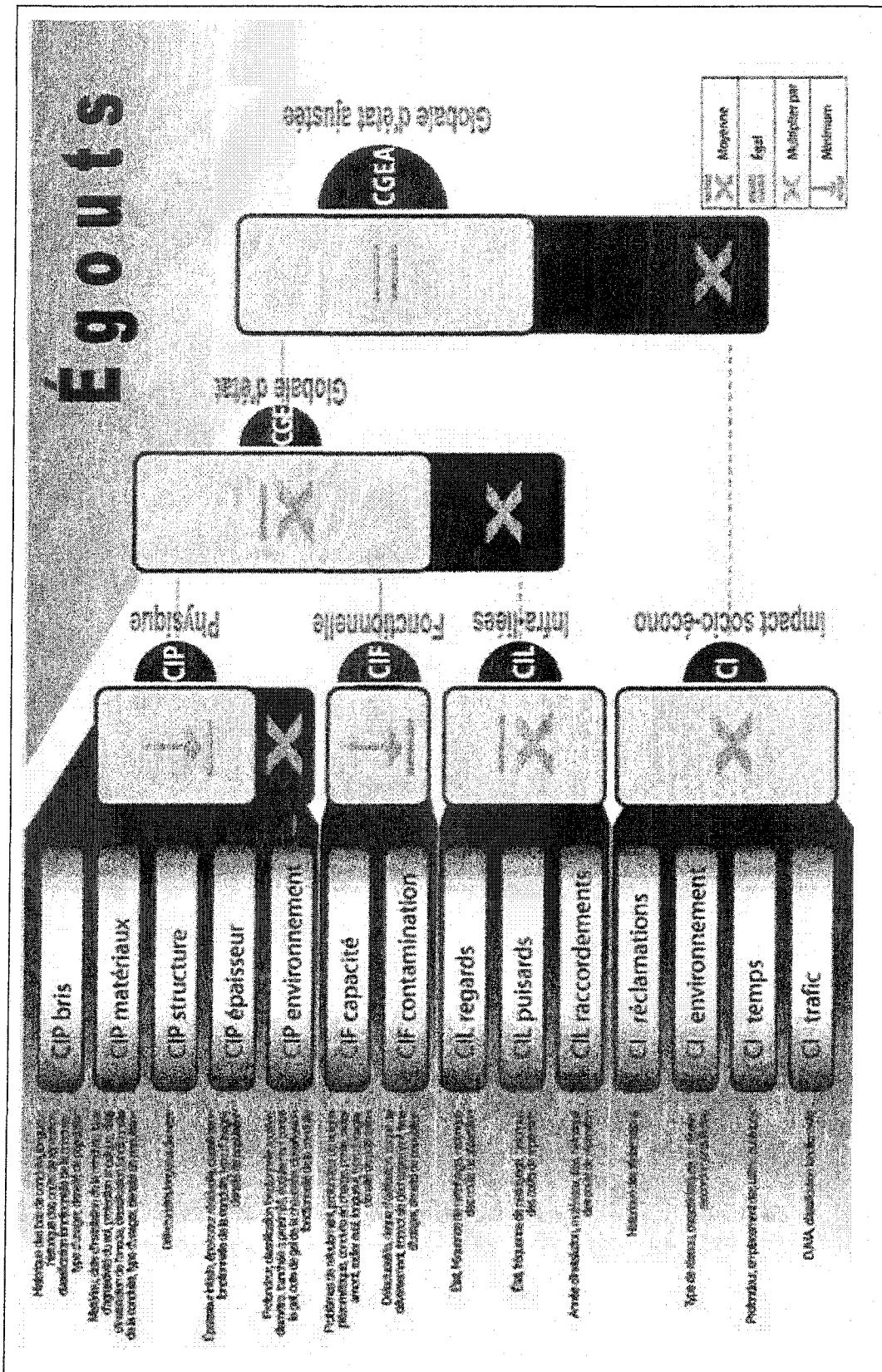


Figure 2 Structure de cotes pour l'évaluation de l'égout

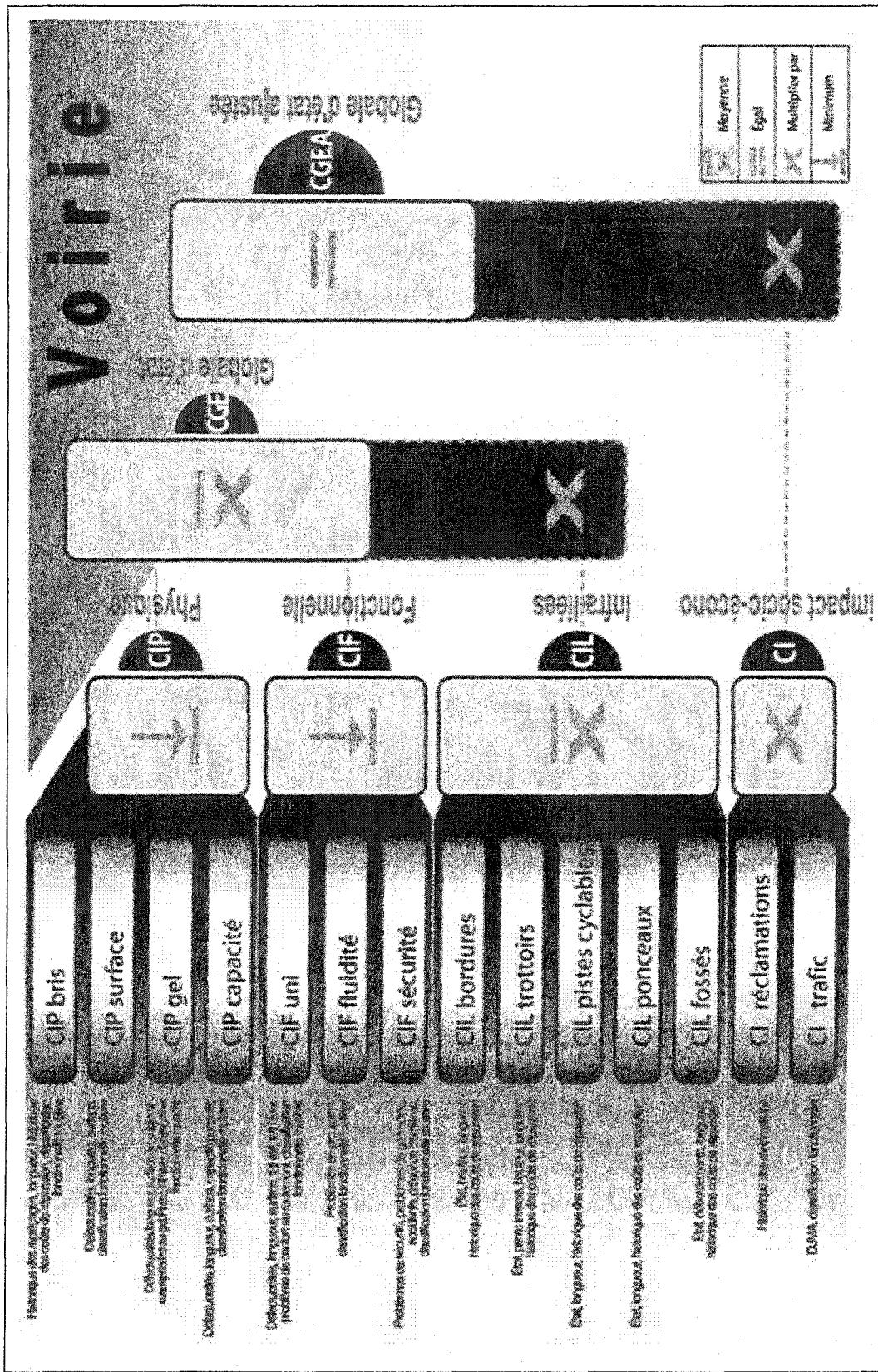


Figure 3 Structure de cotés pour l'évaluation de la voirie

ANNEXE 3

Statistiques du jeu de données utilisé pour l'expérimentation

1.1 Aqueduc

Conduite :

Longueur moyenne : 46.1 mètres

Tableau I

Statistiques de caractéristiques des conduites d'aqueduc

Attribut	Complété			
	Nb	%	Long. (km)	%
Longueur	9042	100.0	416.185	100.0
Diamètre	8955	99.0	412.863	99.2
Matériau	8684	96.0	399.135	95.9
Année d'installation	9042	100.0	416.185	100.0
Profondeur	1403	15.5	64.540	15.5
Type d'usager	9042	100.0	416.185	100
Densité de population	9042	100.0	416.185	100
Coefficient Hazen-Williams	8917	98.6	408.524	98.2
Pression	8917	98.6	408.524	98.2
Débit d'incendie	8917	98.6	408.524	98.2
Temps de séjour	8917	98.6	408.524	98.2

Tableau II
Répartition des bris par type

Type de bris	Nb
Arrêt principal	55
BF	6
Circonférentiel	1545
Joint	20
Longitudinal	137
Manchon	22
NA	26
Perforation	89
Valve	12
Grand total	1912

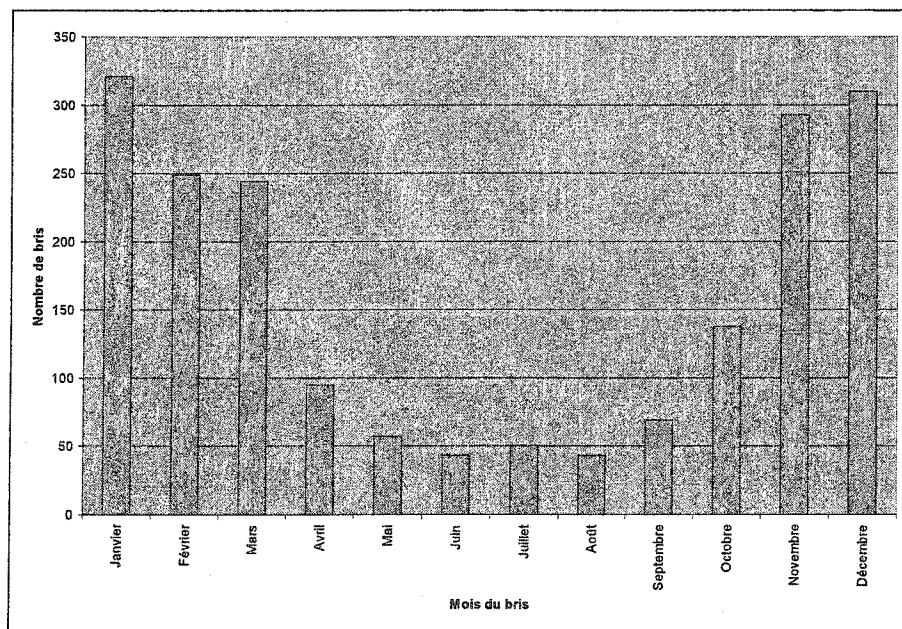


Figure 1 Distribution des bris selon le mois

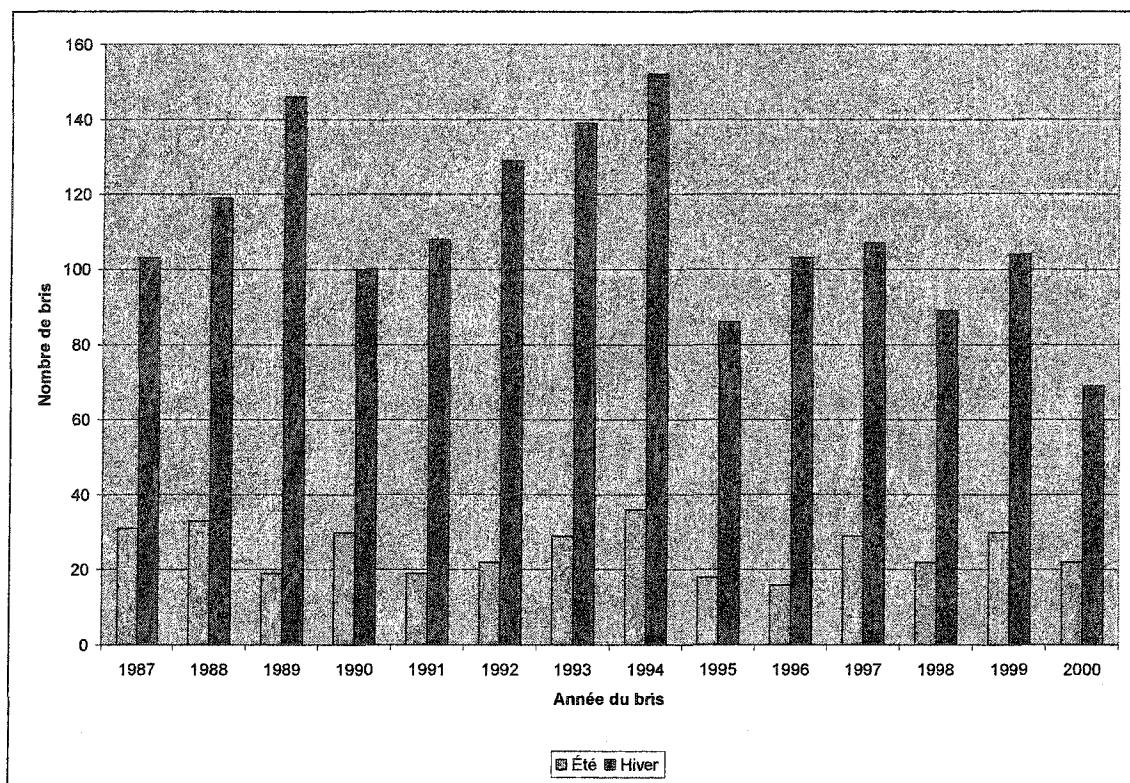


Figure 2 Distribution des bris selon l'année et la saison

Borne d'incendie :

Tableau III

Statistiques de caractéristiques des bornes d'incendie

Attribut	Complétude	
	Nb	%
Total	2281	100.0
Total - Ville	1985	100.0
Marque	1980	99.7
Débit d'incendie disponible	1953	98.4
Débit d'incendie requis	1947	98.1

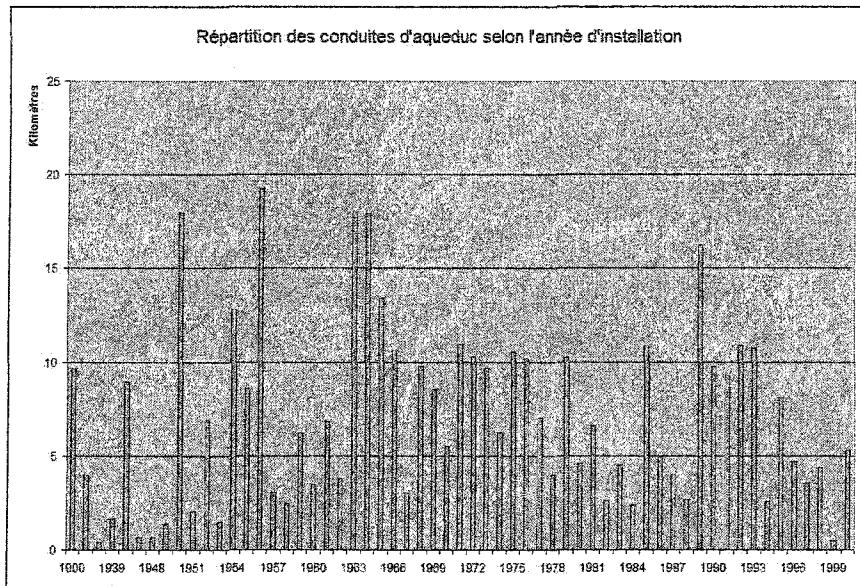


Figure 3 Statistiques sur les données d'aqueduc disponibles

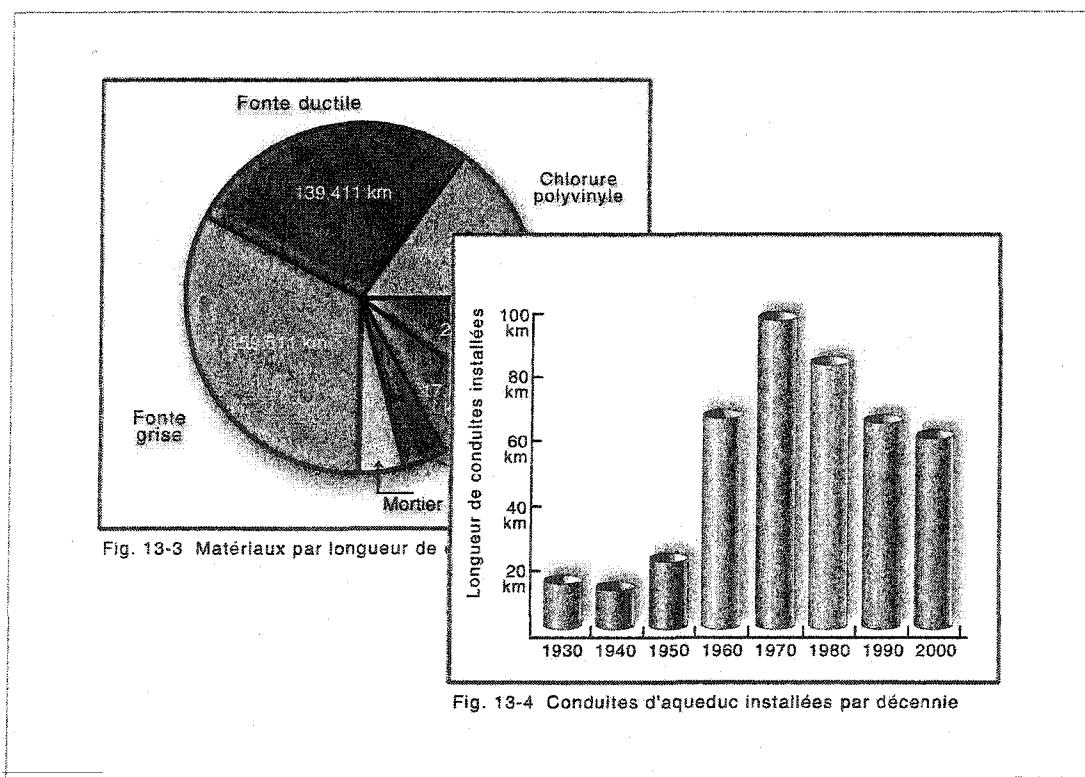


Figure 4 Présentation des caractéristiques du réseau d'aqueduc
(source: Lalonde et Pelletier, 2000)

1.2 Égouts

Conduite :

Longueur moyenne : 65.5 mètres

Tableau IV

Statistiques de caractéristiques des conduites d'égouts

Attribut	Complété			
	Nb	%	Long. (km)	%
Total	9683	100.0	615.525	100.0
Total - Ville	8588	100.0	562.813	100.0
Longueur	8588	100.0	-	-
Type d'égouts	8588	100.0	562.813	100.0
Diamètre	8406	97.9	558.191	99.2
Matériau	7182	83.6	492.845	87.6
Année d'installation	8588	100	562.813	100
Classification fonctionnelle	8381	97.6	557.384	99.0
Profondeur	8139	94.8	539.951	95.9
Pente	2778	32.3	195.951	34.8
Type d'usager	8588	100	562.813	100
Densité de population	8588	100	562.813	100
Inspection	2236	26.0	163.078	29.0
Problème de refoulement	8588	100	562.813	100

Inspection :

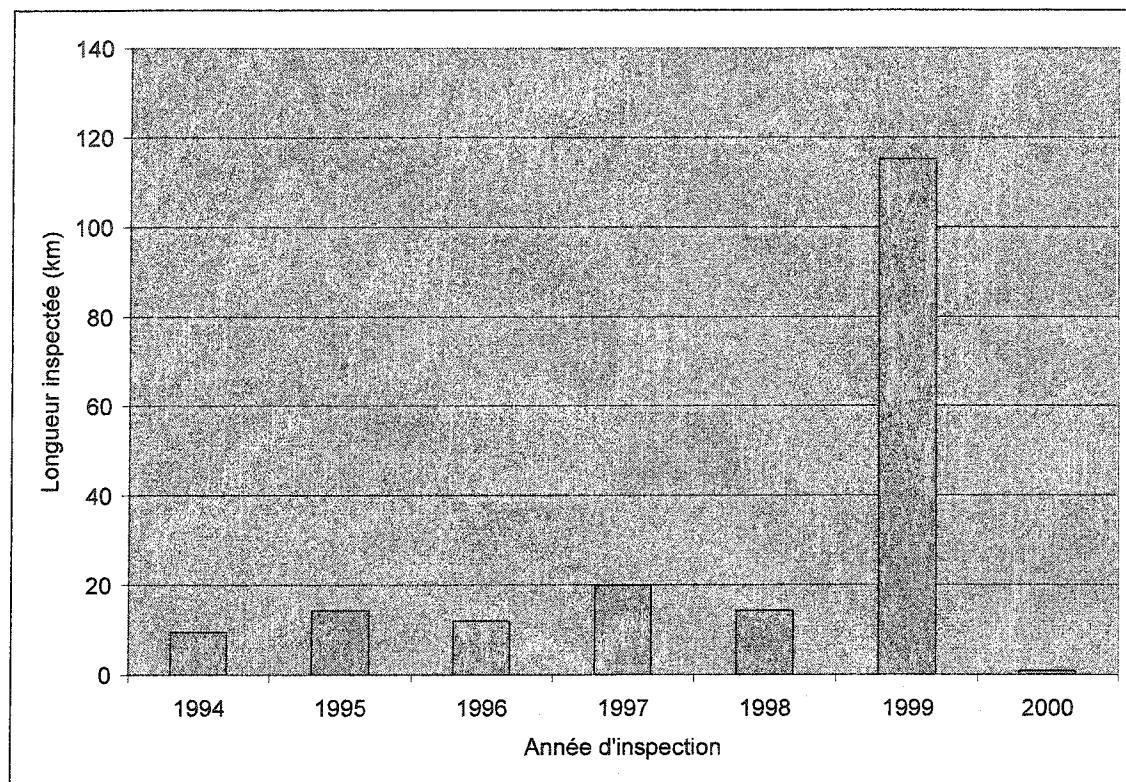


Figure 5 Répartition des inspections par année

Tableau V
Répartition cumulative des inspections par année

Année	Longueur (km)	%	Cumul.
1994	9.530	1.7%	1.7%
1995	14.342	2.5%	4.2%
1996	12.048	2.1%	6.4%
1997	19.938	3.5%	9.9%
1998	14.337	2.5%	12.5%
1999	115.209	20.5%	32.9%
2000	0.743	0.1%	33.1%

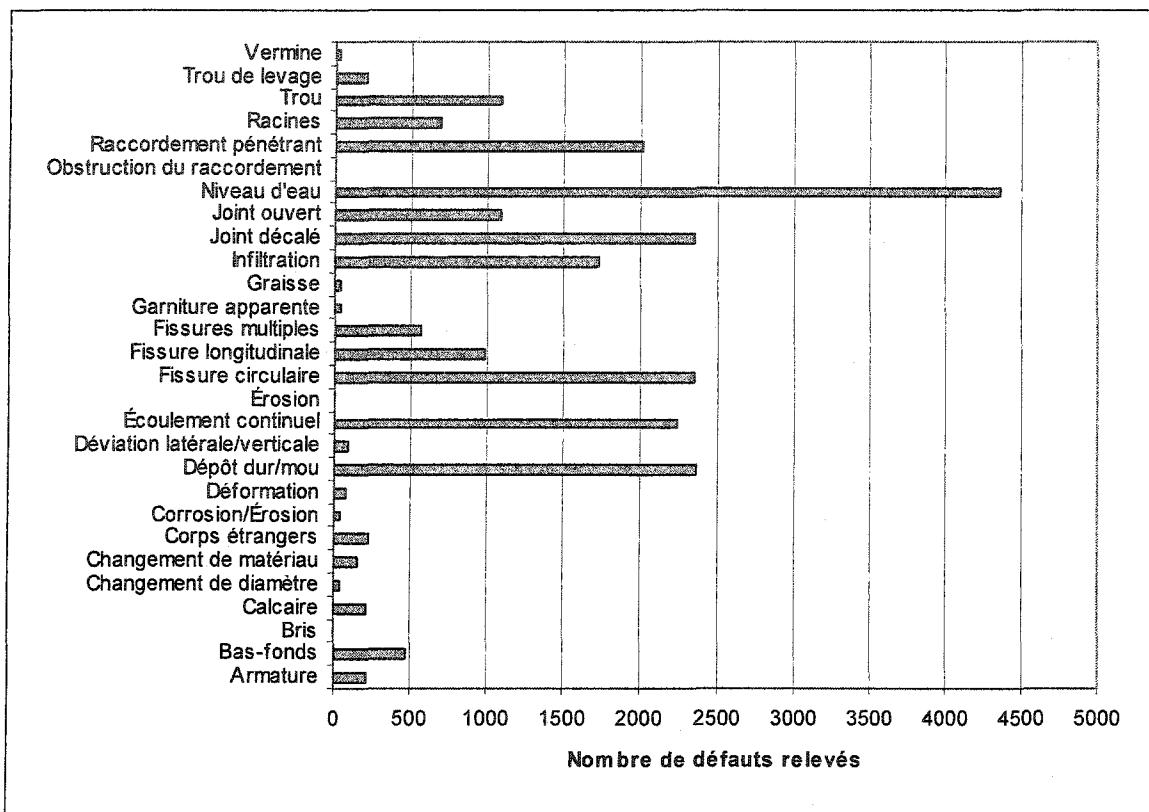


Figure 6 Répartition par types de défauts

Regard :

Tableau VI
Statistique de caractéristiques des regards

Attribut	Complété	
	Nb	%
Total	8885	100.0
Total - Ville	7494	100.0
Inspection	6573	87.7

1.3 Voirie

Segment :

Longueur moyenne : 176.1 mètres

Tableau VII
Statistiques de caractéristiques des chaussées

Attribut	Complété			
	Nb	%	Long. (km)	%
Total	2159	100	380185	100
Longueur	2156	99.9%	-	-
Largeur	2149	99.5%	379877	99.9%
Surface	2149	99.5%	379877	99.9%
Classification	2072	96.0%	370966	97.6%
Date de construction	2159	100.0%	380185	100.0%
IRI été	626	29.0%	121374	31.9%
Capacité portante	522	24.2%	99146	26.1%
Inspecté	1969	91.2%	342096	90.0%

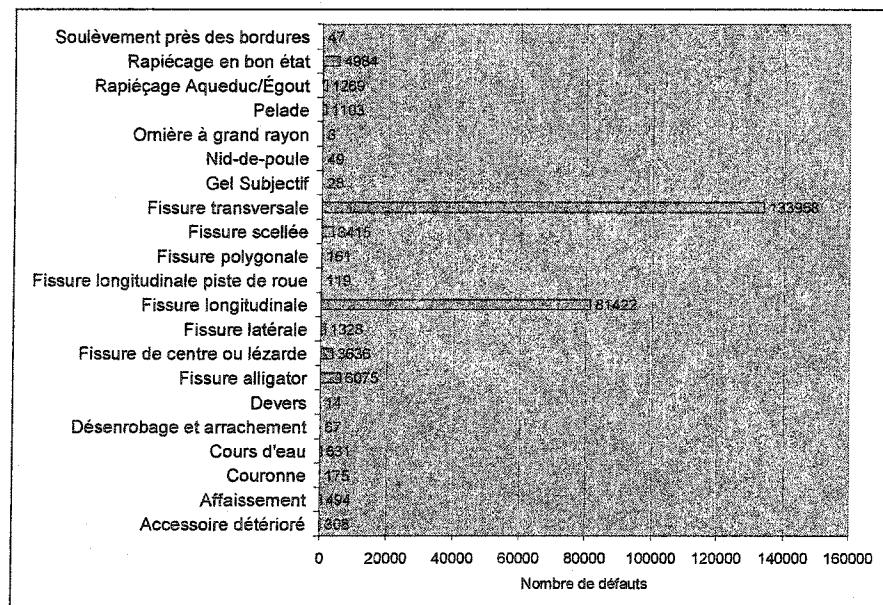


Figure 7 Répartition par types de défauts

Trottoir :

Tableau VIII
Statistique de caractéristiques des trottoirs

Attribut	Complété			
	Nb	%	Long. (km)	%
Total	1266	100.0	155.065	100.0
Longueur	1266	100.0	155.065	100.0
Largeur	1024	86.4	137.528	88.7
Matériau de surface	1261	99.6	154.735	99.8
Inspection	1264	99.8	154.940	99.9

Bordure

Tableau IX
Statistique de caractéristiques des bordures

Attribut	Complété			
	Nb	%	Long. (km)	%
Total	2839	100.0	386.853	100.0
Longueur	2839	100.0	386.853	100.0
Matériau de surface	2837	99.9	386.853	99.9
Inspection	2835	99.9	386.430	99.9

ANNEXE 4

Extrait de l'expérimentation – Aqueduc

Cette section présente l'ensemble des cotes et des sous-cotes faisant partie de l'expérimentation. À l'intérieur de cet annexe, nous énonçons :

- ❖ l'objectif poursuivi pour chaque cote;
- ❖ une présentation des hypothèses de départ (données considérées et valeurs de paramètres) (Pelletier et al., 2001).

CIP, cote d'intégrité physique

CIP bris

Objectif

Évaluer l'état structural de la conduite par l'entremise de l'historique des bris. On veut, par cette pratique, identifier quels sont les segments de conduite qui ont un taux de bris trop important, une croissance accélérée des bris ou bien un pourcentage de pertes d'eau pouvant justifier une réfection majeure.

Hypothèse de départ

- Données considérées dans le calcul : l'historique des bris survenus depuis 1986 et le pourcentage de pertes d'eau par secteur.
- Paramètres utilisés : impératif : > 10 bris / 100 m; souhaitable : entre 6 et 10 bris / 100 m; à surveiller : entre 2 et 6 bris / 100 m; aucune intervention : moins de 2 bris / 100 m.

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 1 (01-05)	<ul style="list-style-type: none"> La durée considérée (fenêtre de temps) pour l'analyse des bris est importante, car la présence de 30 bris sur 35 ans est beaucoup moins grave que 30 bris sur 10 ans. 	<ul style="list-style-type: none"> Limiter la fenêtre de temps considérée à 15 ans. 	Oui
	<ul style="list-style-type: none"> Le facteur <i>croissance de bris</i> doit être considéré comme étant plus important que le cumulatif des bris, car il représente mieux l'évolution future du comportement de la conduite. 	<ul style="list-style-type: none"> Modifier les paramètres : majoration fuites : 10 % et croissance bris : 20 %. 	Oui
	<ul style="list-style-type: none"> Plusieurs segments très courts n'ont qu'un seul bris et ont, par le fait même, une densité de bris impérative. Ceci est causé par une segmentation aux bornes incendie qui sont souvent situées près des intersections. 	<ul style="list-style-type: none"> Revoir certaines règles de segmentation. 	Non (Rech)
		<ul style="list-style-type: none"> Regarder la possibilité de faire une analyse spatiale des bris pour évaluer la densité sur plusieurs segments de conduite. 	Non (Rech)
	<ul style="list-style-type: none"> La température hivernale a sûrement un effet sur le nombre de bris. En 1994, la Ville a réparé 188 bris, alors que la moyenne annuelle est d'environ 150 bris. 	<ul style="list-style-type: none"> Considérer le nombre de degrés/jour de gel tel que calculé pour la profondeur de gel dans le sol. 	Non (Pver)

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 1 (01-05)	<ul style="list-style-type: none"> Les causes des bris ne sont pas directement reliées à l'état de la conduite : gel profond durant un hiver rigoureux, travaux à proximité, recherche de fuites, impact du trafic lourd, type de matériau, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Analyser la cause des bris pour éliminer ceux qui ne sont pas provoqués directement par un mauvais état de la conduite. 	Non (Rech)
	<ul style="list-style-type: none"> Pour déterminer les paramètres concernant le nombre de bris à considérer comme valeur limite, il faudrait se baser sur des facteurs économiques comprenant les coûts de réparation versus le coût de remplacement du segment. 	<ul style="list-style-type: none"> M. Marcel Proulx et M. Louis O. Pelletier effectueront des calculs afin d'établir les bases de calculs économiques pour la détermination du nombre de bris critique. 	Oui
		<ul style="list-style-type: none"> Avenir : considérer la pente de la chaussée lors de l'analyse des bris. Lors d'un bris d'aqueduc dans une rue en pente, la structure de chaussée est beaucoup plus dégradée par l'écoulement de l'eau qu'une rue horizontale ou en faible pente. 	Non (PPD)

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 2 (03-05)	<ul style="list-style-type: none"> Pour le calcul de la croissance des bris (par le nombre de bris annuellement), aucun segment ne possède la corrélation minimum pour être considéré valable. Cela s'explique par le faible nombre de bris sur un segment de conduite (entre 0 et 2) et aussi par la présence de plusieurs années sans bris. 	<ul style="list-style-type: none"> Essayer une évaluation de la croissance par les bris cumulatifs. 	Oui
	<ul style="list-style-type: none"> L'importance des secteurs desservis (commercial et industriel versus résidentiel) a une influence sur les coûts sociaux. 	<ul style="list-style-type: none"> Modifier les paramètres de niveau de service selon l'importance des secteurs. 	Oui
	<ul style="list-style-type: none"> Le nombre de bris limite après l'analyse économique est de 7 bris par année pendant une période de 15 ans, sur un kilomètre (105 bris / km ou 10.5 bris / 100 m). 	<ul style="list-style-type: none"> Modifier le paramètre de la densité de bris impérative à 10.5 bris / 100 m. 	Oui

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 3 (10-05)	<ul style="list-style-type: none"> La problématique des segments courts devenus impératifs à cause d'un seul bris réapparaît. 	<ul style="list-style-type: none"> Modifier l'algorithme pour qu'un segment n'ayant qu'un seul bris et un statut d'intervention impératif ait plutôt un statut d'intervention à surveiller et une cote de 0.75. 	Oui
Itération 4 (12-05)	<ul style="list-style-type: none"> Les résultats correspondent aux attentes du comité technique et sont approuvés. 		

ANNEXE 5

Extrait de l'expérimentation – Égouts

Cette section présente l'ensemble des cotes et des sous-cotes faisant partie de l'expérimentation. À l'intérieur de cet annexe, nous énonçons :

- ❖ l'objectif poursuivi pour chaque cote;
- ❖ une présentation des hypothèses de départ (données considérées et valeurs de paramètres) (Pelletier et al., 2001).

CIP, Cote d'intégrité physique

CIP structure

Objectif

Évaluer l'état structural de la conduite par l'entremise des données relevées lors d'une inspection télévisée. On veut, par cette pratique, identifier quels sont les segments de conduite qui ont un taux de défectuosités trop important ou bien des défauts inacceptables (racines, infiltration, etc.) qui justifient une réfection majeure.

Hypothèse de départ

- Données considérées dans le calcul : les défectuosités suivantes obtenues lors de l'inspection télévisée des conduites d'égouts, basées sur le Guide du CERIU :
 - Indice *Dégradation* : fissures (longitudinales et circulaires); joints décalés, joints ouverts, corrosion/érosion; déformation; trou (différent de trou de levage);
 - Indice *Infiltration* : infiltration d'eau;
 - Indice *Racine* : présence de racines;
 - Indice *Niveau d'eau* : niveau d'eau dans la conduite.
- Paramètres utilisés : largeur d'influence de 0.3 m; facteur de pondération selon la sévérité : Niveau 5 : 1.25 (25 %); Niveau 4 : 1.20 (20 %); Niveau 3 : 1.10 (10 %); Niveau 2 : 1.05 (5 %); Niveau 1 : 1.00 (0 %), taux de défauts : 30 % de la surface intérieure de la conduite.

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 1 (24-03)	Indice <i>Dégradation</i> : les données ne semblent pas à jour sur certains segments;	Vérifier les segments dont les données ne semblent pas à jour;	Oui
	Les paramètres ne traduisent pas bien l'importance relative entre certaines défectuosités;	Modifier les paramètres : diminuer la valeur pour les sévérités 1 et 2 des fissures longitudinales; augmenter la valeur pour les joints décalés par rapport aux joint ouverts; diminuer la valeur pour les sévérités 1 et 2 des raccordements pénétrants;	Oui
	Les segments courts deviennent très facilement impératifs même si les défauts relevés sont seulement de sévérité 1 ou 2 due et à cause de l'évaluation par surface relative des défauts; ¹		
	La présence de nombreuses fissures et défauts de faible sévérité fait en sorte que le statut d'intervention d'un segment devient trop sévère.	Évaluer l'impact de ne pas considérer les défauts de sévérité de niveau 1 et peut-être aussi de niveau 2.	Non (PPD)

¹. Un segment ayant plusieurs défectuosités avec une sévérité de niveau 2, mais aucune intervention n'a été effectuée à ce jour. Il est mentionné que ce segment devrait posséder un statut d'intervention souhaitable plutôt qu'impératif car la Ville n'a pas encore eu de problèmes avec ce segment.

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 1 (24-03)	Indice <i>Dégénération</i> : les points bas devraient être considérés très sévèrement car il s'agit de défectuosités très problématiques.	Faire une analyse pour déduire les bas-fonds des niveaux d'eau relevés.	Oui
		Intégrer dans le prochain devis des spécifications pour le relevé des bas-fonds et des niveaux d'eau;	Non (PPD)
	Majoration Raccordement: les raccordements pénétrants ne sont pas problématiques lorsqu'ils sont inférieurs à 20 ou 25 mm (sévérité de niveau 1 et 2), même sur les conduites récentes. ²		
	Majoration Infiltration: les résultats semblent ne pas tenir compte de la différence entre le pluvial et le sanitaire en terme d'infiltration. ³	Vérifier si l'algorithme différencie l'infiltration d'une conduite pluviale et d'un sanitaire.	Oui
	Segments récemment refaits (depuis 1998) ont des défectuosités. <u>(valide pour l'ensemble des sous-cotes).</u>	Mettre à jour l'information des segments récemment refaits.	Non (PPD)

². Pour les conduites en béton d'il y a 15-20 ans, il est normal que les raccordements soient plus pénétrants car les épaulements pour ceux-ci n'existaient pas.

³. Il est normal d'avoir de l'infiltration dans les conduites pluviales (pour le drainage de la tranchée). Cependant, si l'infiltration provient de fissures ou autres défauts, elle devrait être considérée.

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 2 (31-03)	Les algorithmes sont adéquats au niveau de l'infiltration car il est possible de ne pas la considérer pour les conduites pluviales.	Modifier les paramètres : paramètres utilisés : largeur d'influence de 2.5 m pour les fissures et de 0.5 pour les joints; facteur de pondération selon la sévérité : Niveau 5 : 1.25 (25 %); Niveau 4 : 1.20 (20 %); Niveau 3 : 1.10 (10 %); Niveau 2 : 1.05 (5 %); Niveau 1 : 1.00 (0 %).	Oui
	Indice <i>Dégénération</i> : les conduites n'ayant pas fait l'objet d'une inspection télévisée devraient avoir un statut spécial pour les différencier de celles déjà inspectées mais n'ayant aucune défectuosité.	Faire une carte thématique présentant les conduites inspectées. Améliorer, version future : intégrer dans l'algorithme la présence de l'historique d'inspection télévisée pour qu'une conduite inspectée sans défectuosité ait une cote de 1 tandis qu'une conduite non inspectée ait une valeur nulle ou encore identifier la date de l'inspection télévisée.	Non (PPD) Non (Pver)

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 2 (31-03)	L'étendue des défectuosités est aussi à considérer car la présence de nombreuses défectuosités peut aussi entraîner la réfection ou la réhabilitation complète de la conduite.	Améliorer, version future : dans le cas où une inspection télévisée est effectuée sur un segment, la sous-cote CIP matériau ne devrait plus être considérée quel que soit son résultat puisque l'information fournit par la CIP structure est beaucoup plus précise.	Non (Pver)
	Majoration Racine : il faudrait étudier le cas des segments où des racines sont présentes mais où il y a peu de défectuosités (fissures, joints décalés, etc.). Selon le principe actuel de la sous-cote, le segment ne sera pas impératif même si les racines sont problématiques.		
Itération 3 (06-04)	Un principe de base qui devrait être respecté dans l'établissement des paramètres est que la longueur équivalente du pire défaut ne devrait pas dépasser la longueur d'une feuille d'une conduite en béton (2.44 m).	Modification des paramètres	Oui

	Commentaire	Action	Réalisé
	La prémissse de base est qu'aucune décision n'est prise sur les travaux à réaliser avant d'avoir analysé les résultats d'une inspection télévisée.		
Itération 3 (06-04)	Les résultats de certains segments ne sont pas représentatifs puisque des inspections télévisées ont été avortées, ce qui fait en sorte que l'information relevée est partielle. Puisque les défectuosités se situent sur une portion du segment, la densité de défauts relevés n'est souvent pas suffisante par rapport à celle qui existe vraiment.	Amélioration, version future : il faudrait que l'algorithme tienne compte d'un segment dont la longueur inspectée est plus petite que la longueur réelle pour calculer la densité de défauts sur la longueur inspectée. ⁴	Non (Rech)

⁴. Si seulement 50 % de la conduite est inspectée, il faudrait en tenir compte dans les résultats car le fait de diviser par la longueur totale dilue les résultats. Est-ce que le fait que la téléinspection ne puisse être effectuée sur toute la longueur est une raison suffisante pour considérer le segment comme impératif?

ANNEXE 6

Extrait de l'expérimentation – Voirie

Cette section présente l'ensemble des cotes et des sous-cotes faisant partie de l'expérimentation. À l'intérieur de cet annexe, nous énonçons :

- ❖ l'objectif poursuivi pour chaque cote;
- ❖ une présentation des hypothèses de départ (données considérées et valeurs de paramètres) (Pelletier et al., 2001).

CIP, cote d'intégrité physique

CIP surface

Objectif

Évaluer l'état de la surface de la chaussée par l'entremise des données relevées lors d'une inspection visuelle. On veut, par cette pratique, identifier quels sont les segments de rue qui ont un taux de fissuration trop important ou des défauts (ornières, cours d'eau, etc.) pouvant justifier une réfection majeure.

Hypothèse de départ

- Données considérées dans le calcul : ensemble des défectuosités et rapiéçages identifiés lors du relevé visuel de chaussées effectué par SETRA.
- Paramètres utilisés : largeur d'influence des défectuosités à 0.3 m; facteur de pondération sur les fissures (sévérité); élevée 1.10 (10 %); moyenne 1.05 (5 %); faible 1.0 (0 %), Taux de fissuration limite 125 % de la surface totale.

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 1 (22-02)	Résultats non représentatifs à cause de paramètres pas assez sévères.	Modifier les paramètres aux valeurs suivantes : Taux de fissuration limite à 30 %.	Oui
		Diminuer à 20 % la limite du rapièçage par rapport à la surface totale.	Non (Pver)
	Segments récemment refaits (depuis 1998) ont des défauts (valide pour l'ensemble des sous-cotes).	Mettre à jour l'information des segments récemment refaits (valide pour l'ensemble des sous-cotes).	Oui
Itération 2 (25-02)	Résultats non représentatifs à cause de paramètres pas assez sévères.	Modifier les paramètres aux valeurs suivantes : fissures alligator 20 %; pelade 15 %; couronne 1 % (peu important); cours d'eau 15 % ¹ ; accessoires 0 % (les problèmes autour des accessoires sont corrigés au fur et à mesure), Taux de fissuration limite à 20 %.	

¹. En de nombreux endroits, l'absence de matériaux granulaires sous les bordures obligent la réalisation de travaux même si le reste de la rue est en bon état.

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 2 (25-02)	Résultats pas assez sévères pour certains endroits très fissurés.	Modifier les paramètres aux valeurs suivantes : largeur d'influence des fissures à 0,5 m; fissures de sévérité moyenne à 1,30 et fissures de sévérité élevée à 1,50; fissures alligator 200 %; pelade 175 %; Taux de fissuration limite à 25 %.	Oui
	Segments avec données absentes (ne comprenant pas ceux qui n'ont aucune défectuosité et les routes de gravier) à analyser dans une prochaine mise à jour des données.	Inspecter les segments ayant des données absentes.	Non (Pver)
		Faire la liste des rues n'ayant pas été inspectées lors du relevé des défectuosités.	Non (Pver)

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 2 (25-02)	Problématique des segments non uniformes (ex. Montbray) ou longs (ex: Jules-Verne), où une partie est en bon état et une autre partie est beaucoup plus détériorée. Lorsque le segment est long, les résultats ne sont pas représentatifs de la réalité.	Modifier la segmentation des rues pour ramener la longueur des segments à une valeur de 300 mètres maximum.	Non (PPD)
Itération 3 (07-03)		Améliorer, version future : utiliser l'algorithme de densité au niveau de la fissuration afin de prendre la densité maximale de fissuration sur le segment, plutôt que de prendre la moyenne de l'ensemble du segment. Cela pourrait régler une partie de la problématique des segments longs.	Non (Rech)

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 4 (20-03)	Certains segments demeurent problématiques au niveau de la sévérité de l'état.	Vérification des segments de rue en question sur le terrain, pour comparer les résultats.	Oui
		Modifier les paramètres aux valeurs suivantes : fissures de sévérité faible à 0,2, fissures de sévérité moyenne à 1,30 et fissures de sévérité élevée à 1,50; fissures alligator 400 %; pelade 350 %; désenrobage et arrachement 300 %.	Oui
Itération 5 18-05	Résultats satisfaisants et représentatifs.		

ANNEXE 7

Extrait de l'expérimentation – Intégrateur

Cette section présente l'ensemble des cotes et des sous-cotes faisant partie de l'expérimentation. À l'intérieur de cet annexe, nous énonçons :

- ❖ l'objectif poursuivi pour chaque cote;
- ❖ une présentation des hypothèses de départ (données considérées et valeurs de paramètres) (Pelletier et al., 2001).

Bilan intégré

Objectif

Dresser un portrait de l'état intégré, c'est-à-dire un état considérant à la fois l'aqueduc, les égouts et la voirie, dans une même série de cotes. On veut, par cette pratique, identifier quels sont les segments intégrés qui nécessitent une attention particulière et fournir aux experts en modélisation d'aqueduc et d'égouts une carte où ils peuvent visualiser les endroits problématiques, autant au niveau physique que fonctionnel. Cela permettra d'établir une base de comparaison pour évaluer l'amélioration globale des réseaux, par la mise en œuvre de scénarios d'intervention.

Hypothèse de départ
<ul style="list-style-type: none">• Données considérées dans le calcul : l'ensemble des cotes résultant des SGI Aqueduc, Égouts et Voirie.• Paramètres utilisés : Pourcentage d'imputation 100 %.

	Commentaire	Action	Réalisé
Itération 1	Les cotes intégrées pour l'aqueduc sont absentes à plusieurs endroits.	Corriger l'algorithme.	Oui
Itération 2	<p>Les résultats de la cote globale d'état intégrée (CGEI) sont excessivement sévères. Il s'agit du problème observé en rapport avec l'aspect fonctionnel du réseau d'égouts.</p> <p>L'aspect fonctionnel prend une part importante dans le calcul de la cote globale d'état intégrée. La cote fonctionnelle est une représentation de la conséquence des problèmes et non une localisation précise des problèmes eux-mêmes.</p>	Calculer deux cotes intégrées séparant l'aspect physique d'une part et l'aspect fonctionnel d'autre part.	Oui
Itération 3	Les résultats présentés sous la forme de cotes séparant les aspects physique et fonctionnel représentent bien la réalité.		

ANNEXE 8

Analyse de sensibilité

Résultats et analyse de sensibilité

Aqueduc

Tableau I

Sommaire des itérations – intégrité physique

	CIP bris	CIP matériau	CIP environnement	CIP
Nombre d'itérations	4	3	1	2
Statut impératif	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Statut Souhaitable	0.85%	44.58%		44.70%
Statut À surveiller	3.34%	21.97%		22.22%
Statut Excellent	95.71%	33.44%		32.98%

Pour évaluer la sensibilité des sous-cotes dans le calcul de la CIP, nous avons calculé l'écart entre chacune des sous-cotes et la cote CIP. Nous avons également considéré les combinaisons de deux des trois sous-cotes. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP matériau et la CIP bris.

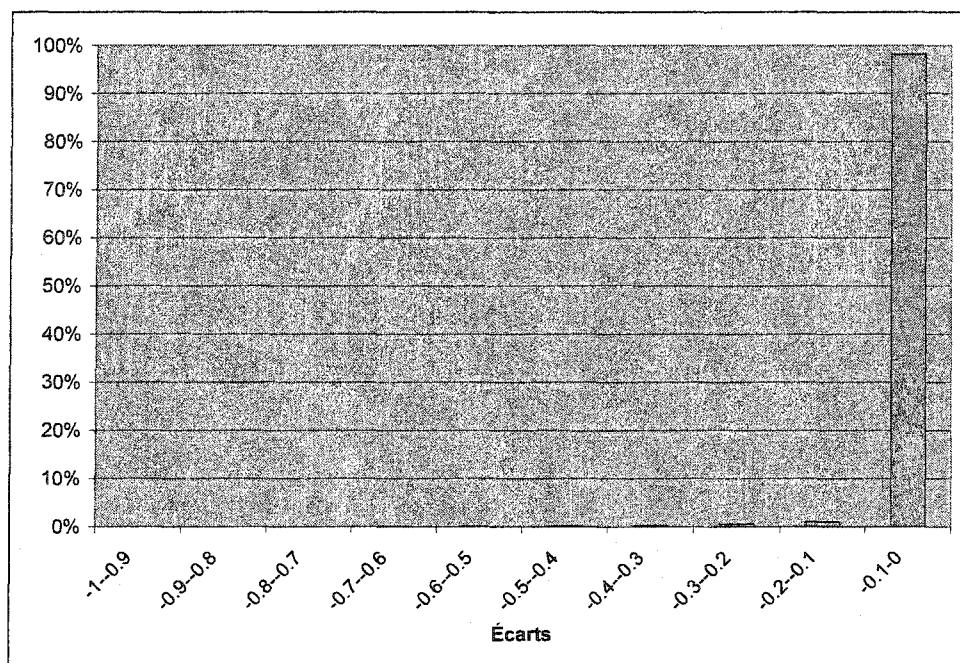


Figure 1 Écarts entre la CIP matériau et la CIP

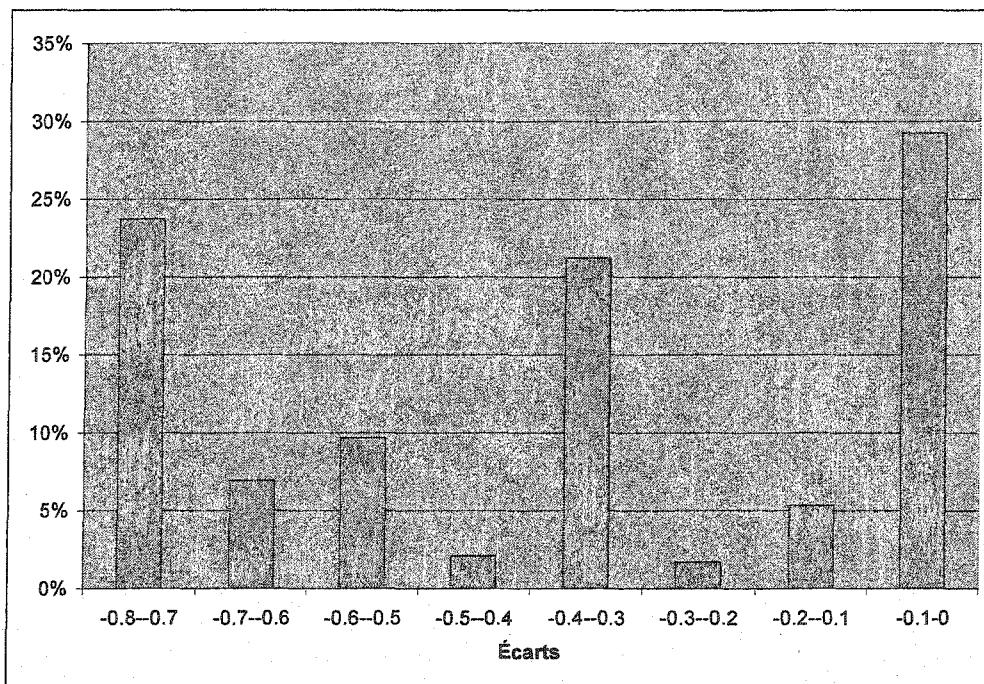


Figure 2 Écarts entre la CIP bris et la CIP

Tableau II

Sommaire des itérations – intégrité fonctionnelle

	Indice incendie	Indice pression	CIF capacité	CIF qualité	CIF
Nombre d'itérations	6	6	6	2	2
Statut impératif			10.5%		
Statut Souhaitable	4.3%	2.1	8.2%	3.1%	9.9%
Statut À surveiller	5.7%	0.0%	0.3%	10.3%	7.3%
Statut Excellent	24.6%	93.4%	81.0%	85.5%	71.5%

Le même processus que précédemment a été appliqué à la CIF. Cependant, nous avons ajouté à l'évaluation deux indices importants dans le calcul de la CIF capacité, soit l'indice incendie et l'indice pression. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la l'indice incendie, la CIF capacité.

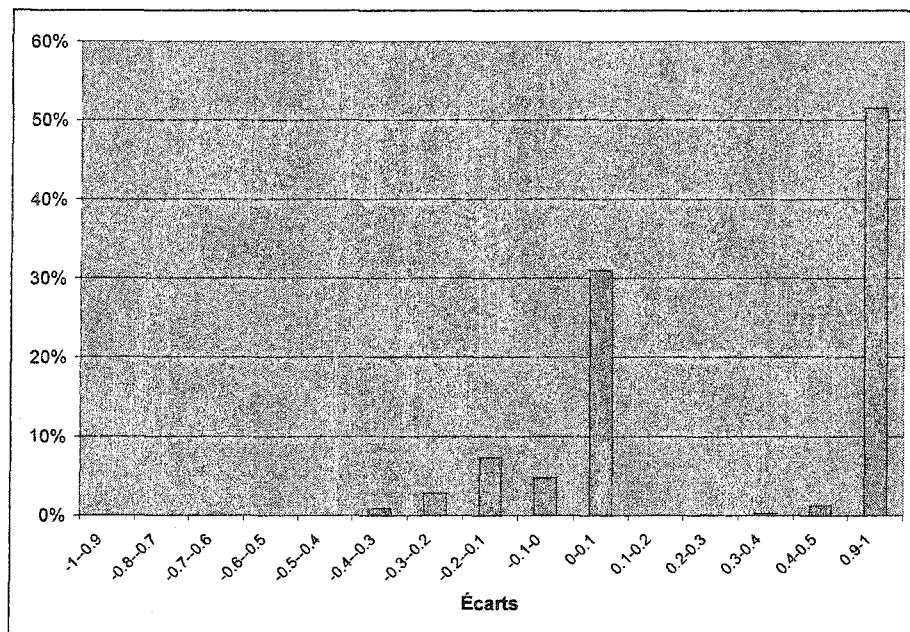


Figure 3 Écarts entre l'indice incendie et la CIF capacité

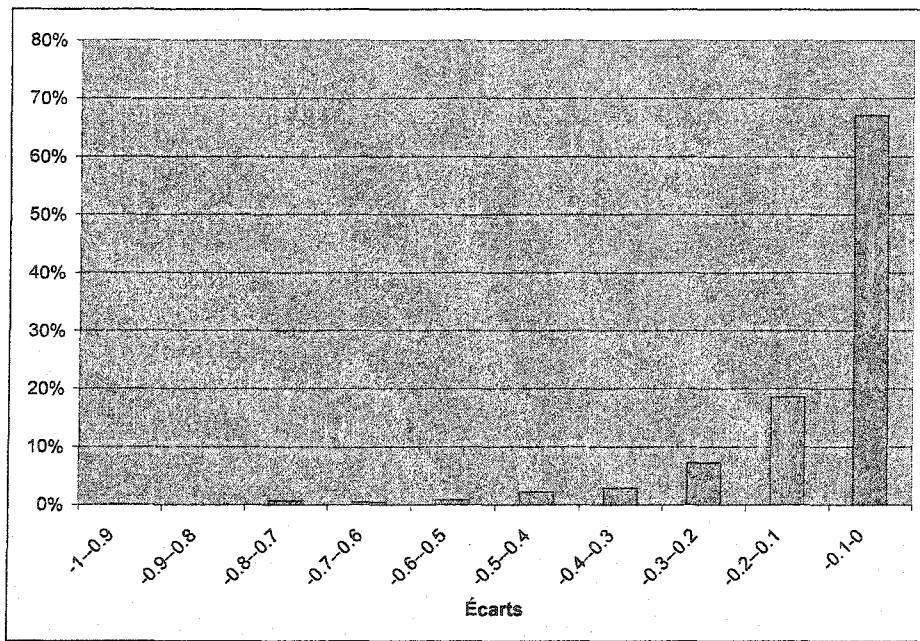


Figure 4 Écarts entre la CIF capacité et la CIF

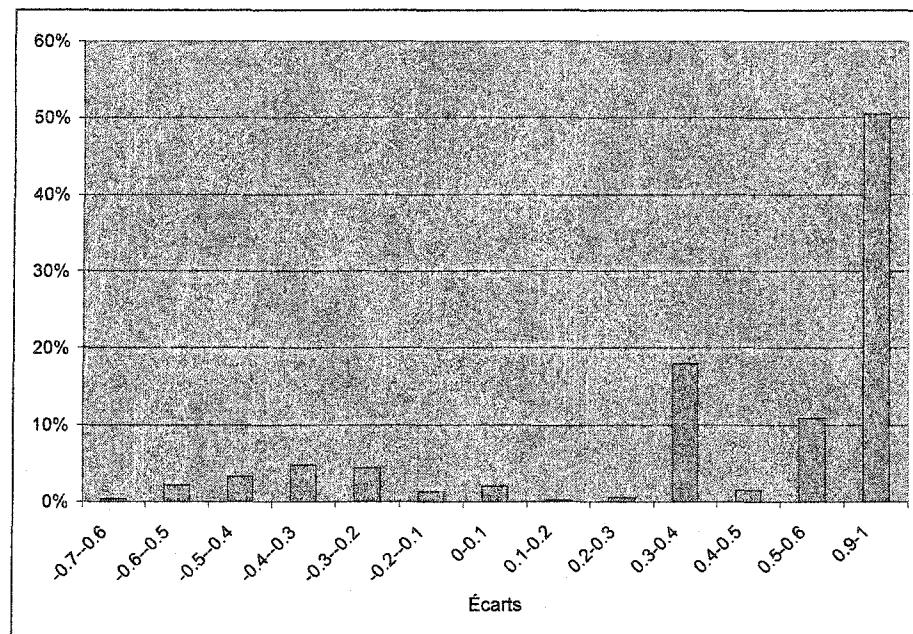


Figure 5 Écarts entre l'indice pression et la CIF capacité

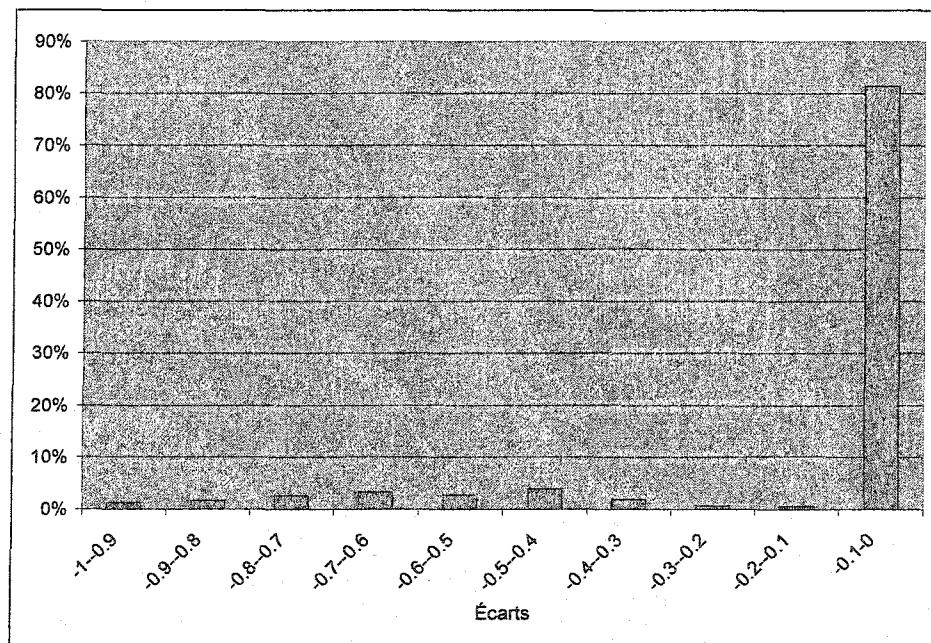


Figure 6 Écarts entre la CIF qualité et la CIF

Tableau III

Sommaire des itérations – cotes globales

	CIP	CIF	CIL	CI	CGE	CGEA
Nombre d'itérations	2	2	2	2	1	1
Statut impératif						
Statut Souhaitable	44.7%	9.9%	0.0%	11.5%	42.3%	42.1%
Statut À surveiller	22.2%	7.3%	5.4%	30.1%	21.1%	21.1%
Statut Excellent	33.0%	71.5%	33.7%	58.4%	24.2%	24.2%

Les interventions calculées basées sur l'arbre de décision sont présentées à la figure ci-dessous.

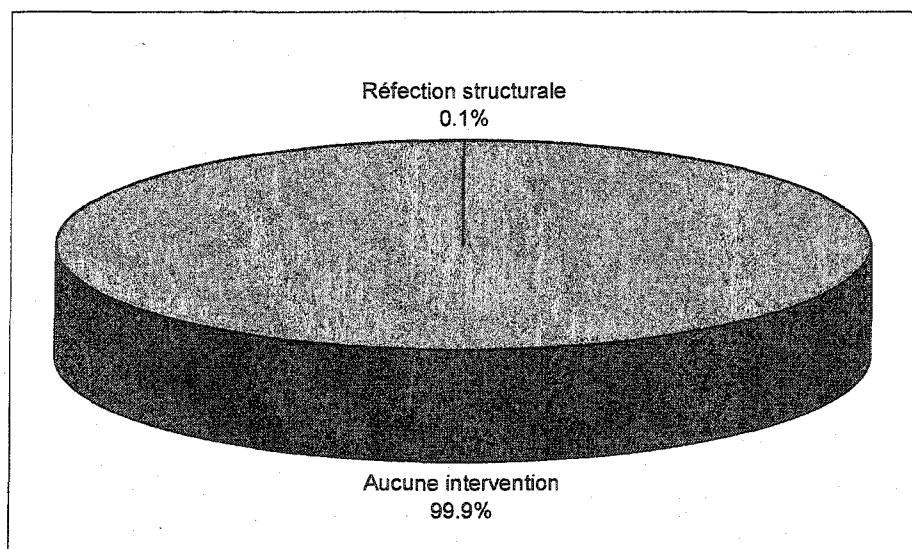


Figure 7 Répartition des interventions calculées selon la longueur

Enfin, nous avons évalué également la sensibilité des cotes sur les cotes globales. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP envers la CGE, la CIP et la CIF envers la CGE et la CGE envers la CGEA.

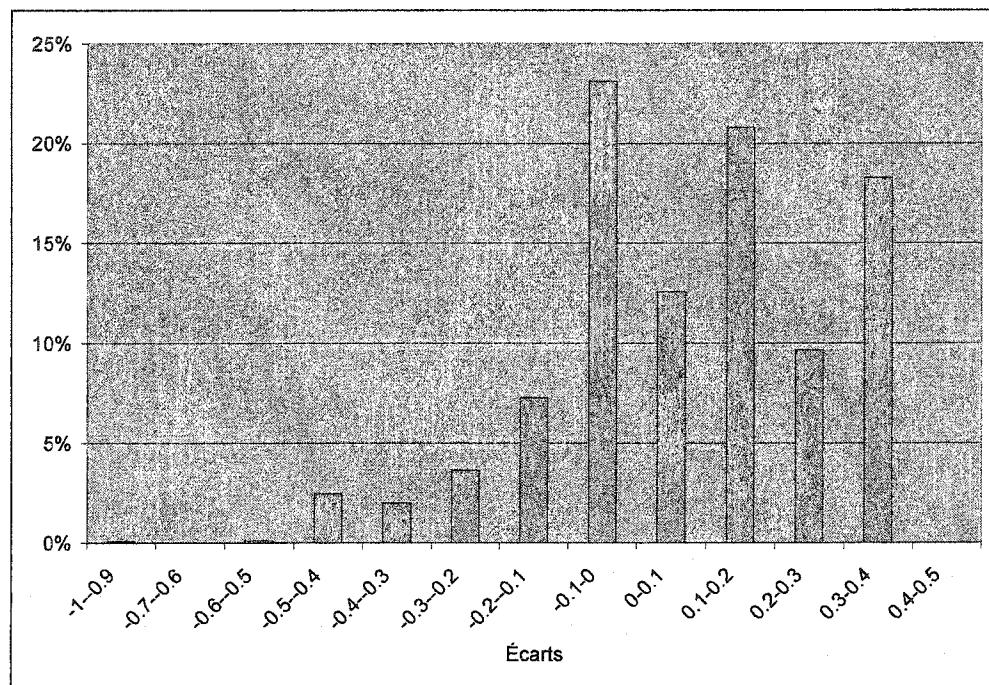


Figure 8 Écarts entre la CIP et la CGE

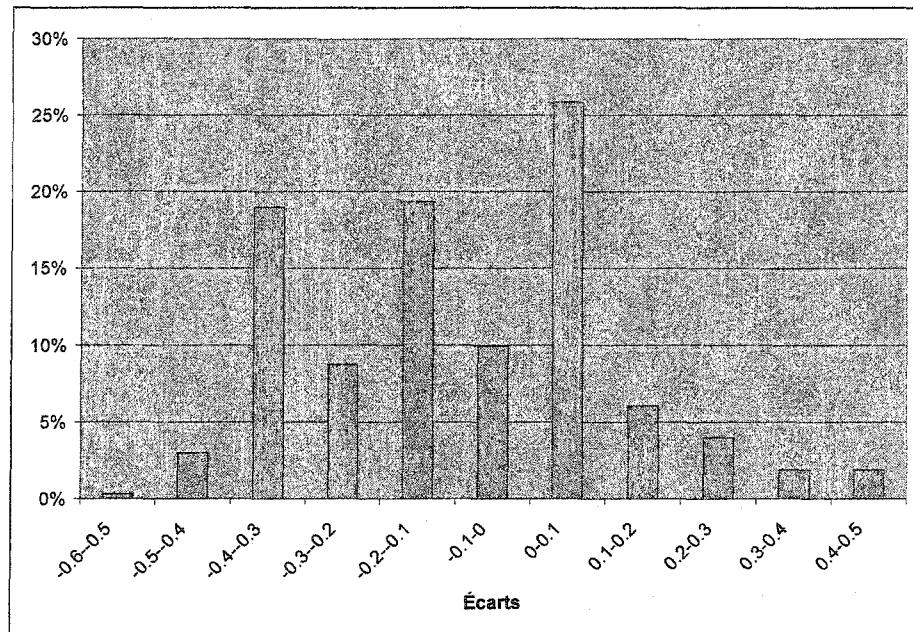


Figure 9 Écarts entre la CIF et la CGE

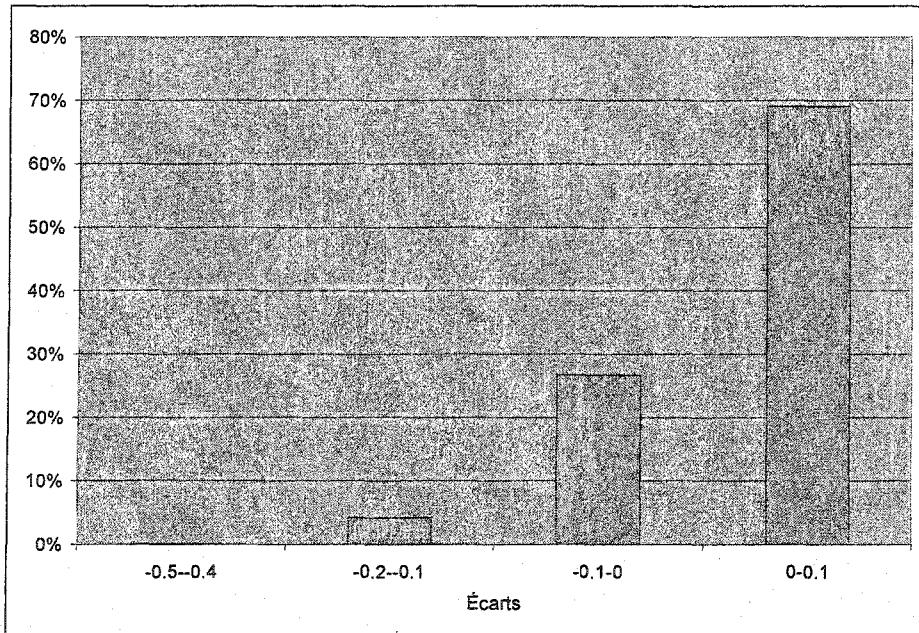


Figure 10 Écarts entre la CIP avec la CIF et la CGE, présentant l'effet de la CIL

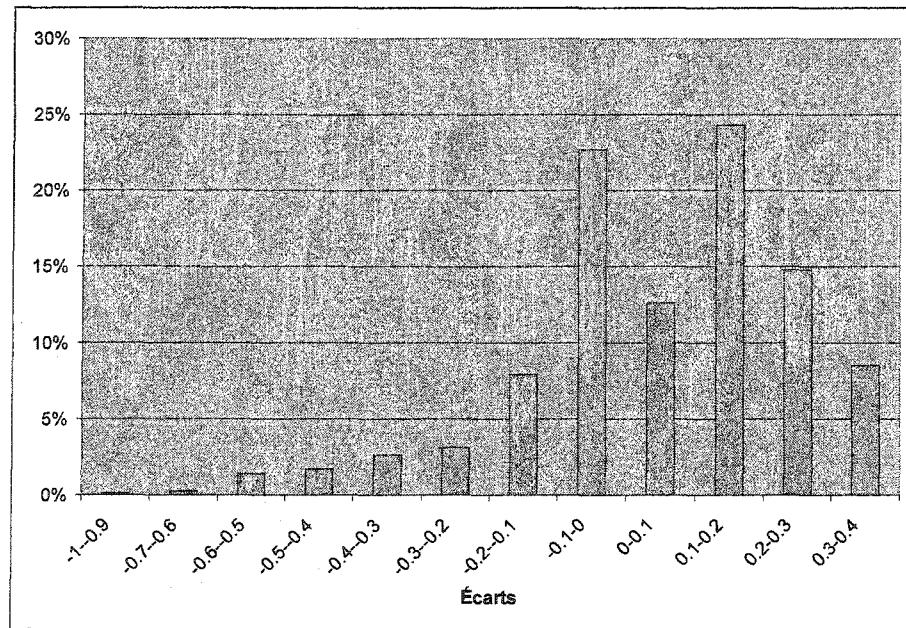


Figure 11 Écarts entre la CIP et la CGEA

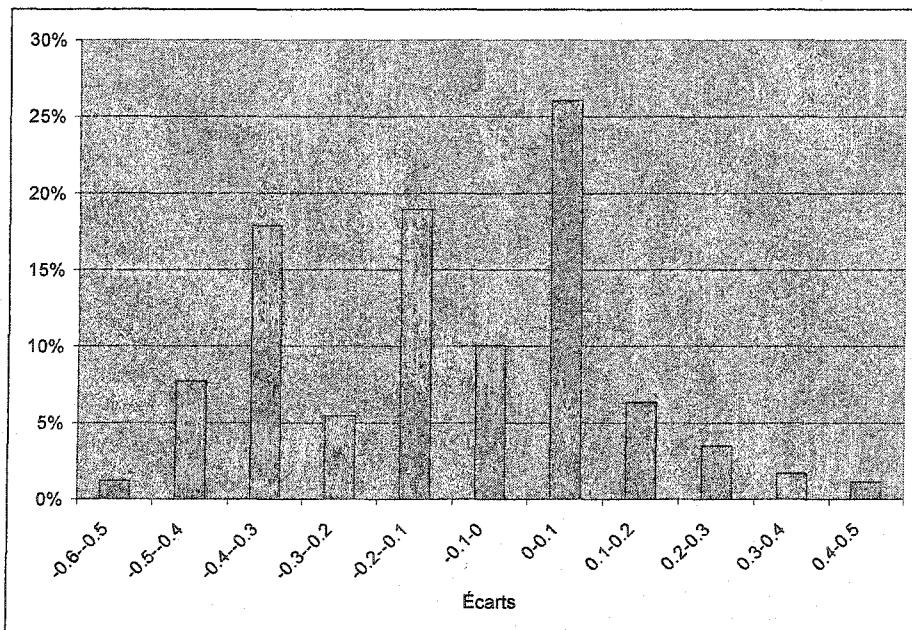


Figure 12 Écarts entre la CIF et la CGEA

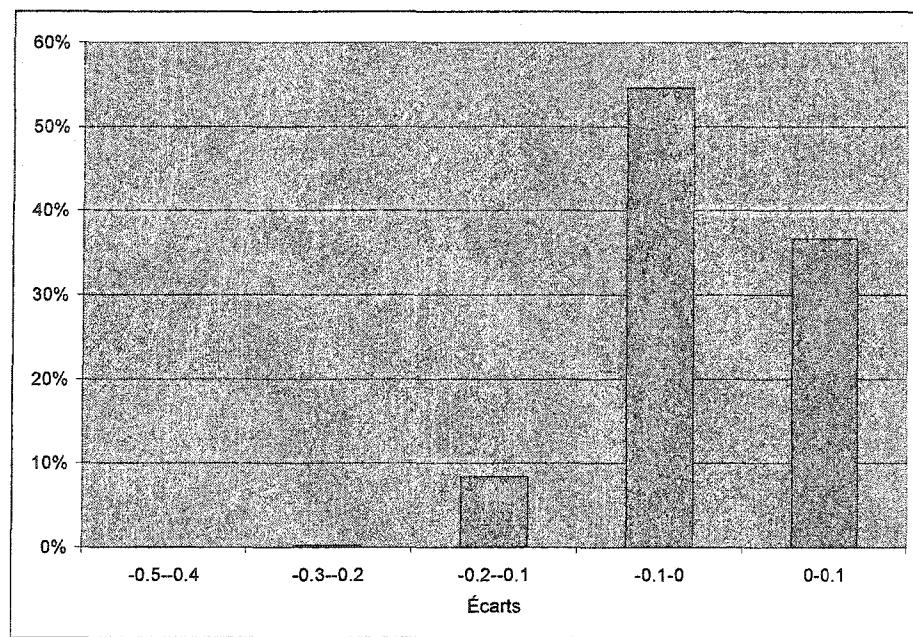


Figure 13 Écarts entre la CIP combinée avec la CIF et la CGEA

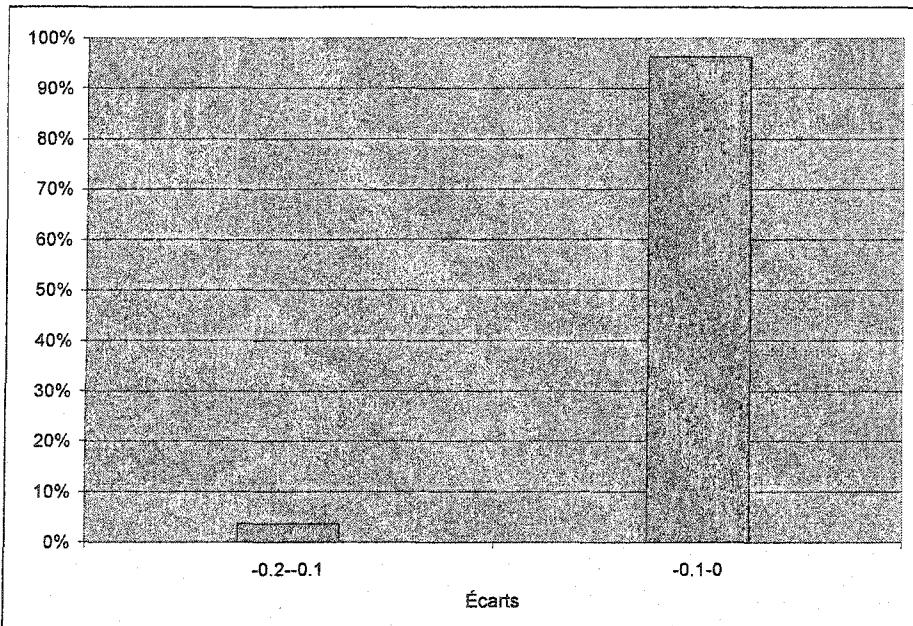


Figure 14 Écarts entre la CGE et la CGEA, présentant l'effet de la CI

Égouts

Tableau IV

Sommaire des itérations – intégrité physique

	CIP structure	CIP matériau	CIP environnement	CIP
Nombre d'itérations	6	2	3	3
Statut impératif				
Statut Souhaitable	0.5%	8.4%		8.7%
Statut À surveiller	1.6%	0.0%		1.8%
Statut Excellent	97.3%	91.5%		89.2%

Pour évaluer la sensibilité des sous-cotes dans le calcul de la CIP, nous avons calculé l'écart entre chacune des sous-cotes et la cote CIP. Nous avons également considéré les combinaisons de deux des trois sous-cotes. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP matériau et la CIP structure.

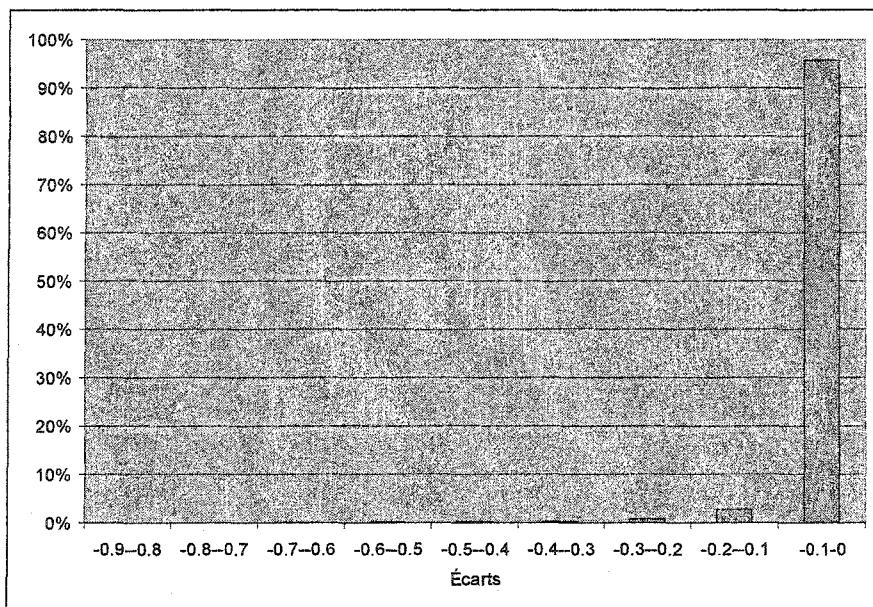


Figure 15 Écarts entre la CIP matériel et la CIP

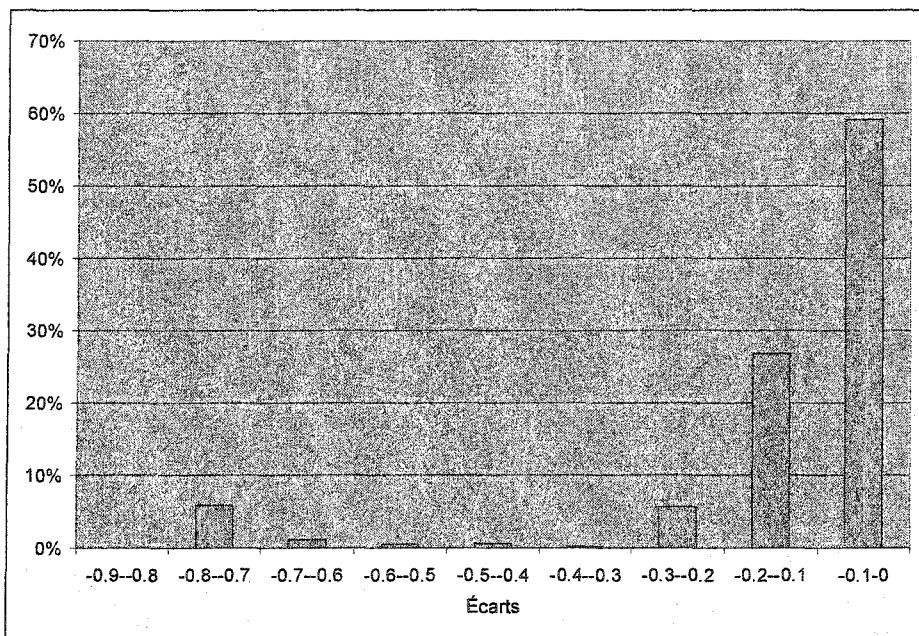


Figure 16 Écarts entre la CIP structure et la CIP

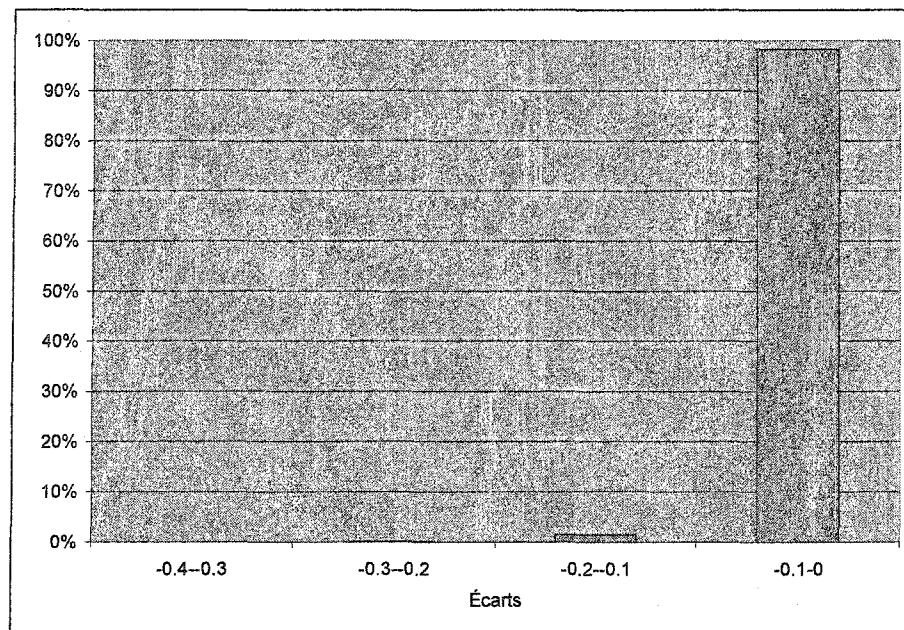


Figure 17 Écarts entre la CIP matériau combinée à la CIP structure et la CIP

Tableau V

Sommaire des itérations – intégrité fonctionnelle

	Indice refoulement	Indice ligne piézométrique	CIF capacité	CIF contamination	CIF
Nombre d'itérations	4	4	4	2	1
Statut impératif					
Statut Souhaitable	2.5%		0.2%	0.0%	0.2%
Statut À surveiller	0.2%		1.0%	0.0%	1.0%
Statut Excellent	97.3%		96.4%	100.0%	95.4%

Le même processus que précédemment a été appliqué à la CIF. Cependant, vu un manque de résultat, aucun indice ni sous-cote n'a été ajouté à l'analyse.

Tableau VI

Sommaire des itérations – cotes globales

	CIP	CIF	CIL	CI	CGE	CGEA
Nombre d'itérations	3	1	3	1	1	1
Statut impératif						
Statut Souhaitable	8.7%	0.2%	10.4%	4.1%	8.3%	8.3%
Statut À surveiller	1.8%	1.0%	3.0%	29.4%	2.6%	2.6%
Statut Excellent	89.2%	96.4%	86.4%	65.8%	86.3%	86.3%

Les interventions calculées basées sur l'arbre de décision sont présentées à la figure ci-dessous.

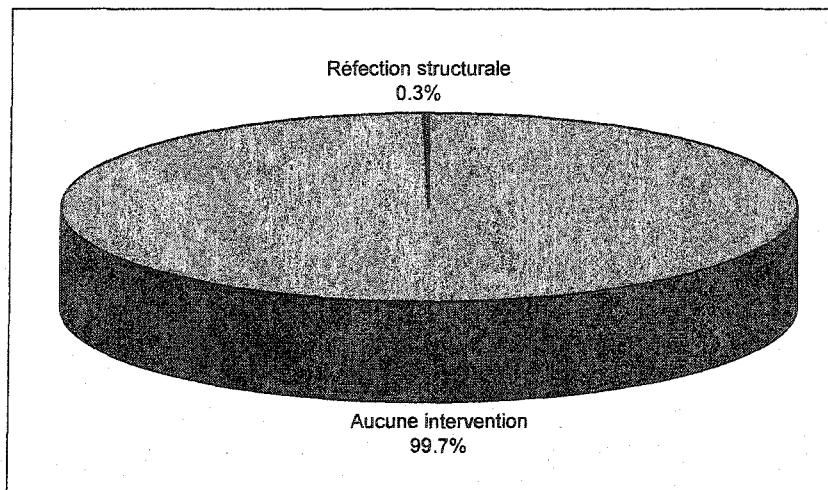


Figure 18 Répartition des interventions calculées selon la longueur

Enfin, nous avons évalué également la sensibilité des cotes sur les cotes globales. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP envers la CGE, la CIP et la CIF envers la CGE et la CGEA.

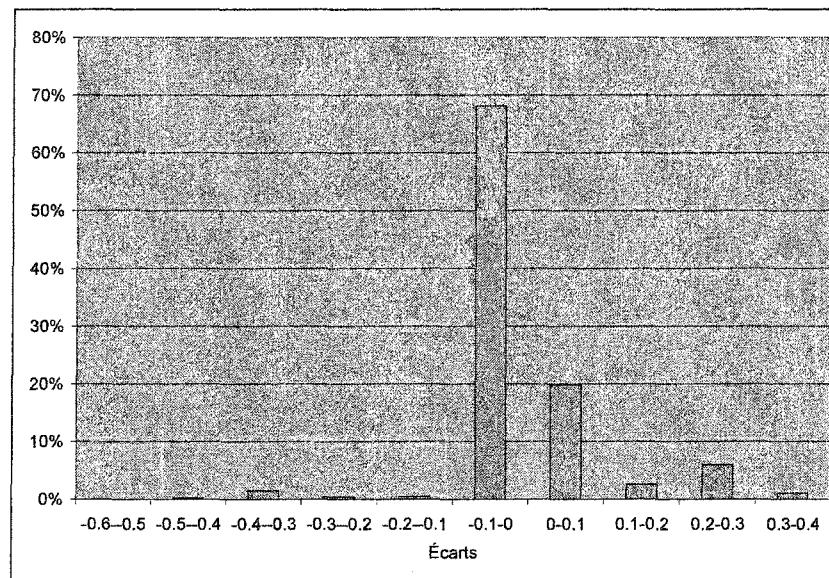


Figure 19 Écarts entre la CIP et la CGE

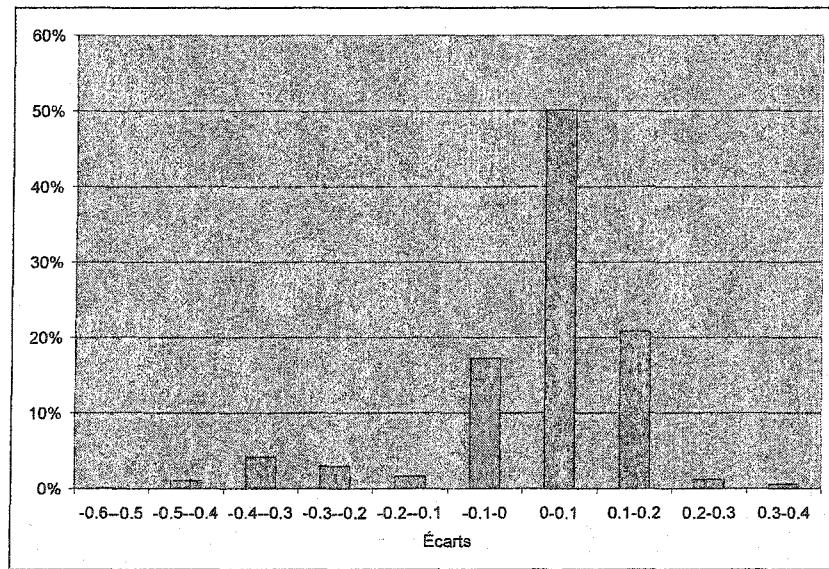


Figure 20 Écarts entre la CIF et la CGE

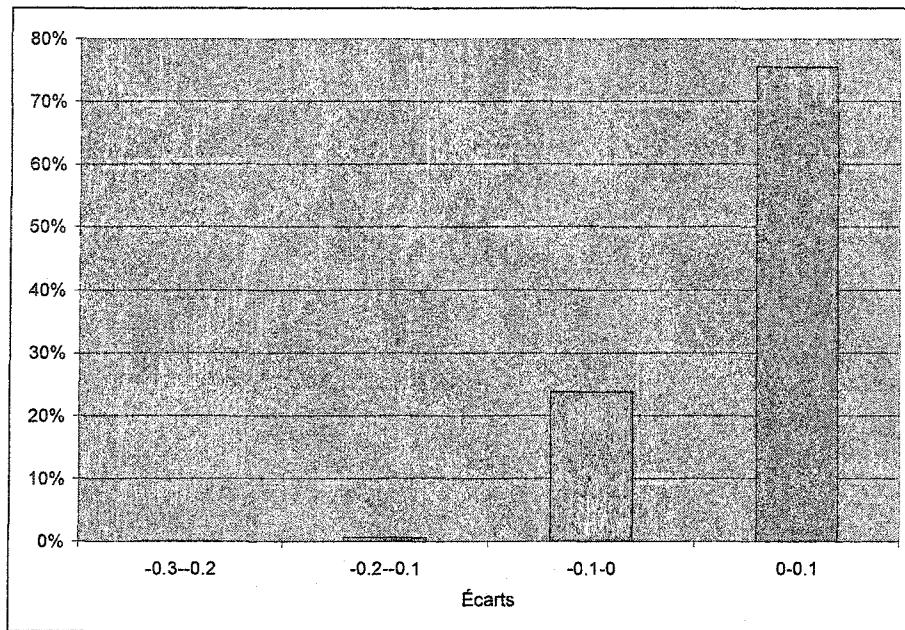


Figure 21 Écarts entre la CIP avec la CIF et la CGE, présentant l'effet de la CIL

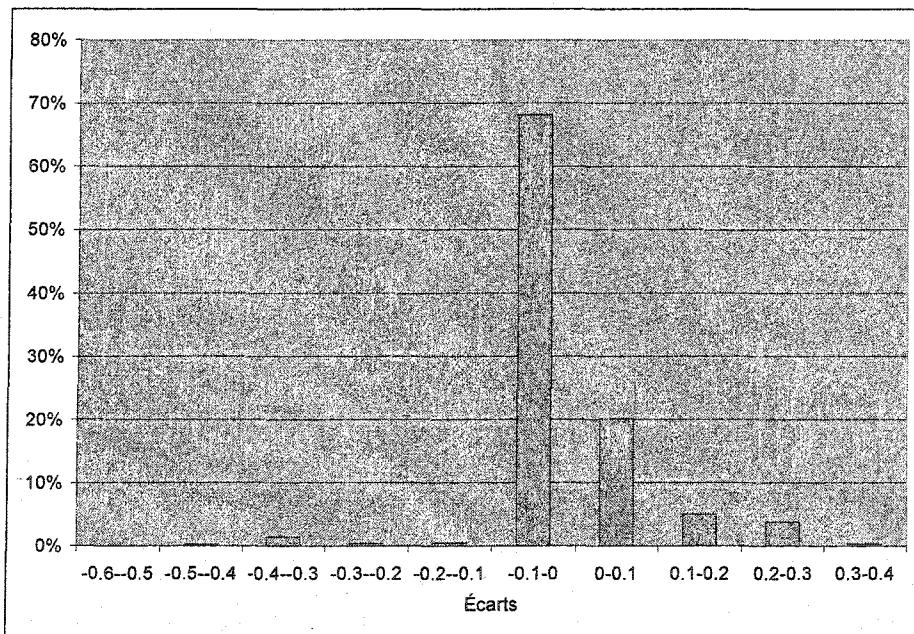


Figure 22 Écarts entre la CIP et la CGEA

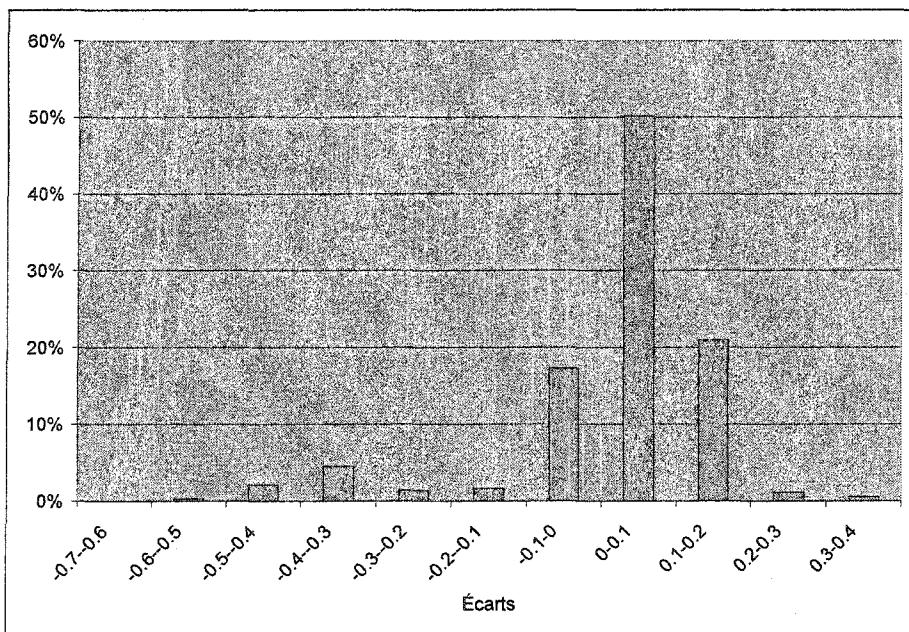


Figure 23 Écarts entre la CIF et la CGEA

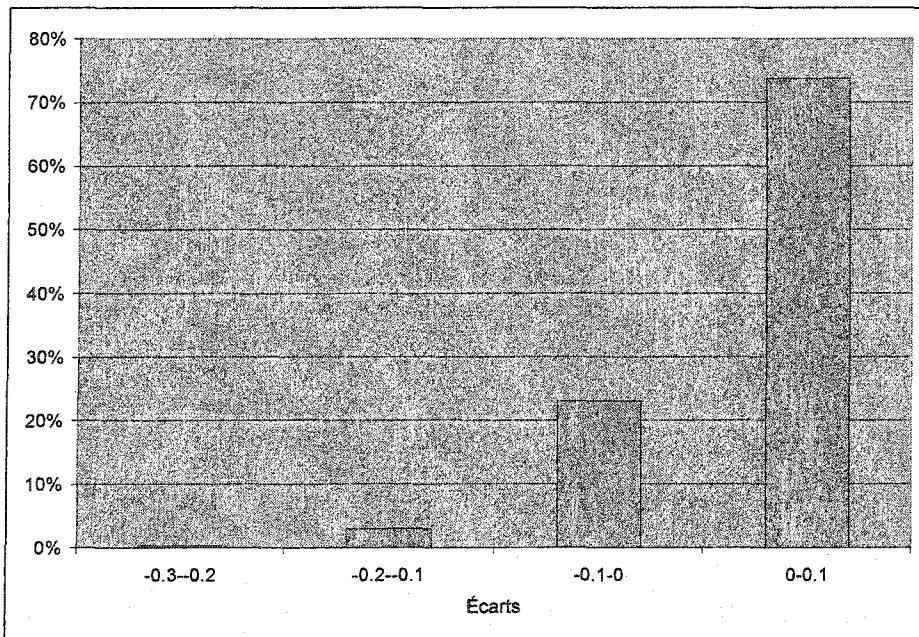


Figure 24 Écarts entre la CIP combinée avec la CIF et la CGEA

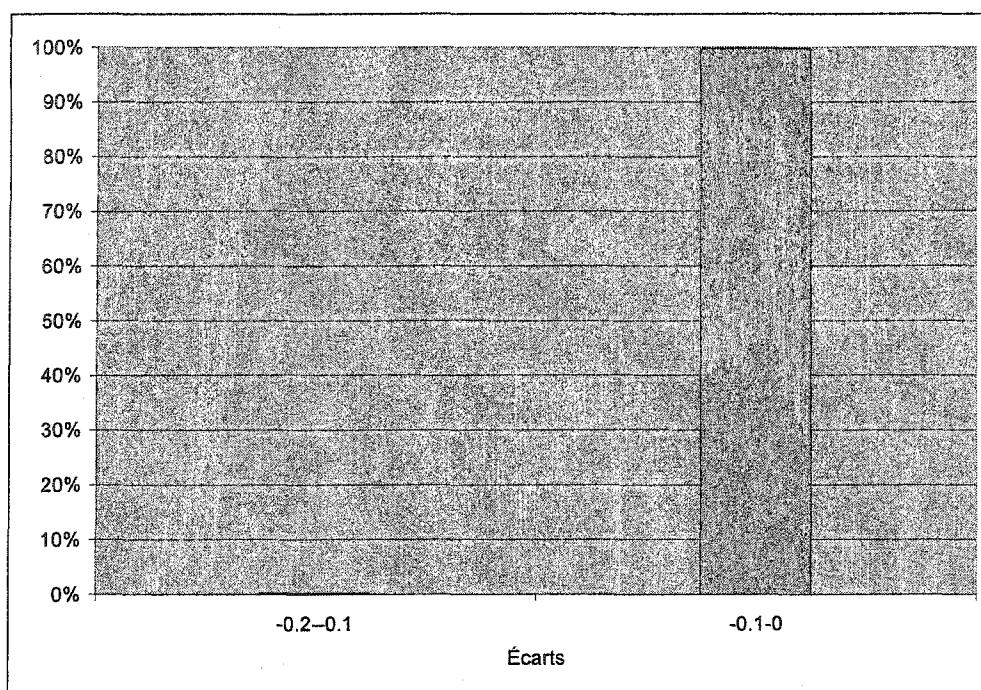


Figure 25 Écarts entre la CGE et la CGEA, présentant l'effet de la CI

Voirie

Tableau VII

Sommaire des itérations – intégrité physique

	CIP bris	CIP surface	CIP gel	CIP capacité	CIP
Nombre d'itérations	2	5	4	3	2
Statut impératif					
Statut Souhaitable	3.3%	13.4%	7.7%	0.1%	14.7%
Statut À surveiller	8.9%	25.8%	14.1%	4.7%	29.3%
Statut Excellent	67.1%	48.5%	76.9%	95.2%	42.7%

Pour évaluer la sensibilité des sous-cotes dans le calcul de la CIP, nous avons calculé l'écart entre chacune des sous-cotes et la cote CIP. Nous avons également considéré les combinaisons de deux des trois sous-cotes. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP bris et la CIP surface.

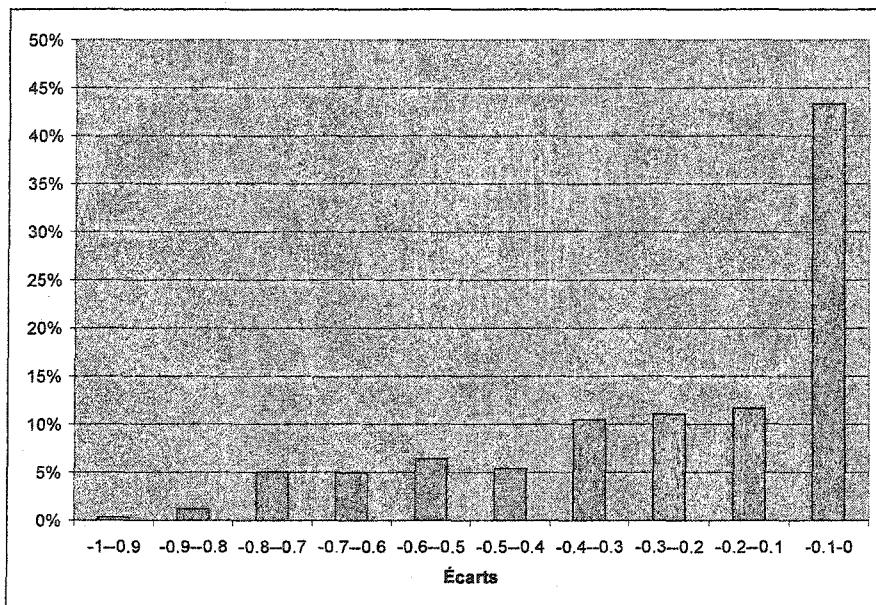


Figure 26 Écarts entre la CIP bris et la CIP

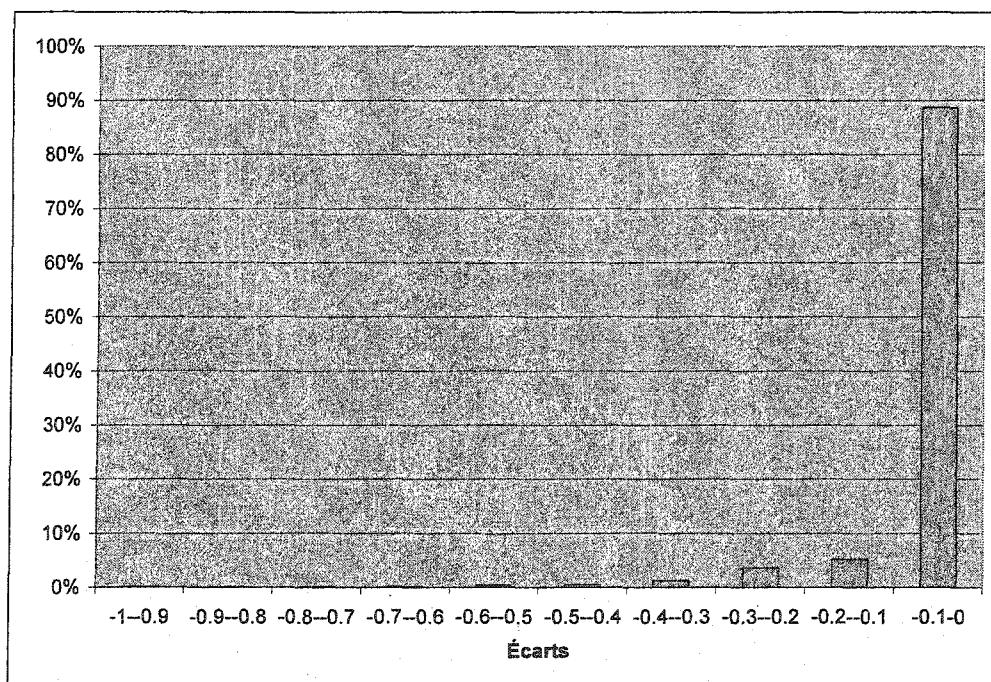


Figure 27 Écarts entre la CIP surface et la CIP

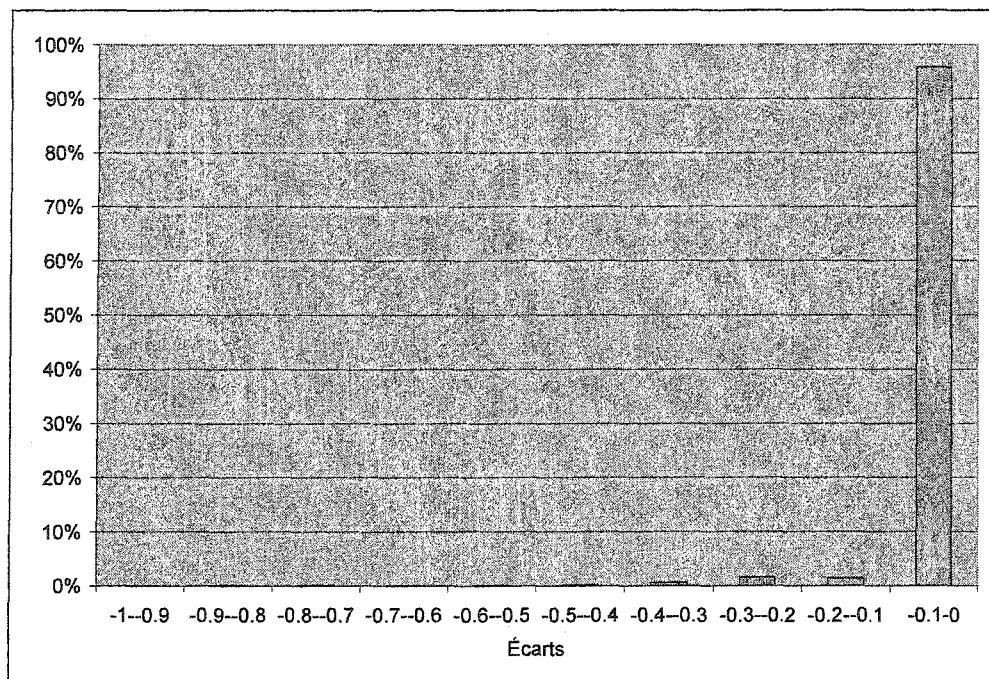


Figure 28 Écarts entre la CIP bris combinée à la CIP surface et la CIP

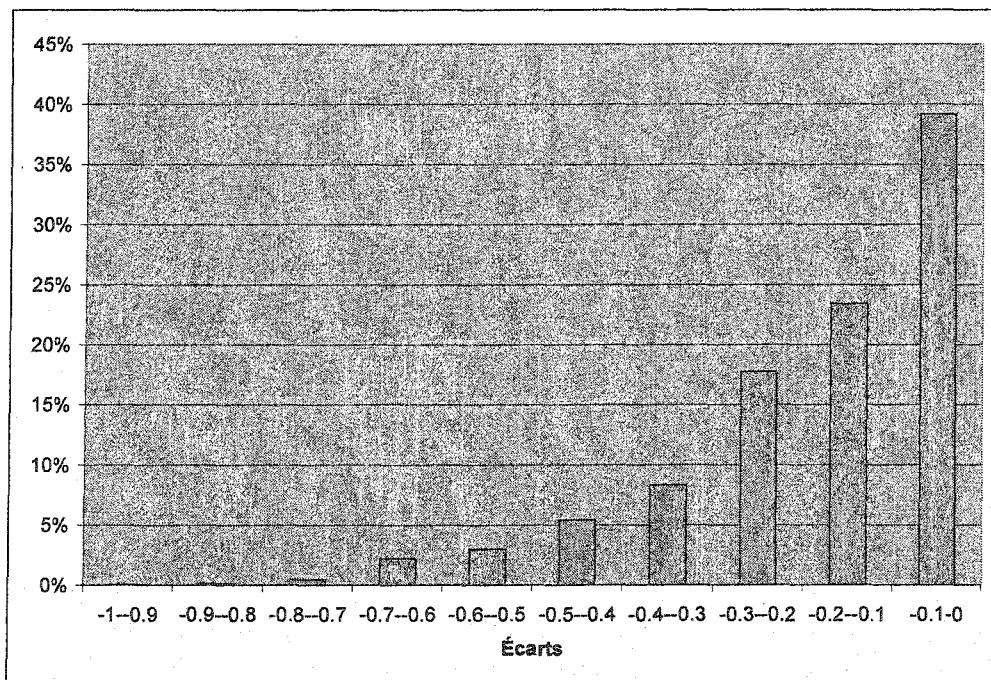


Figure 29 Écarts entre la CIP gel et la CIP

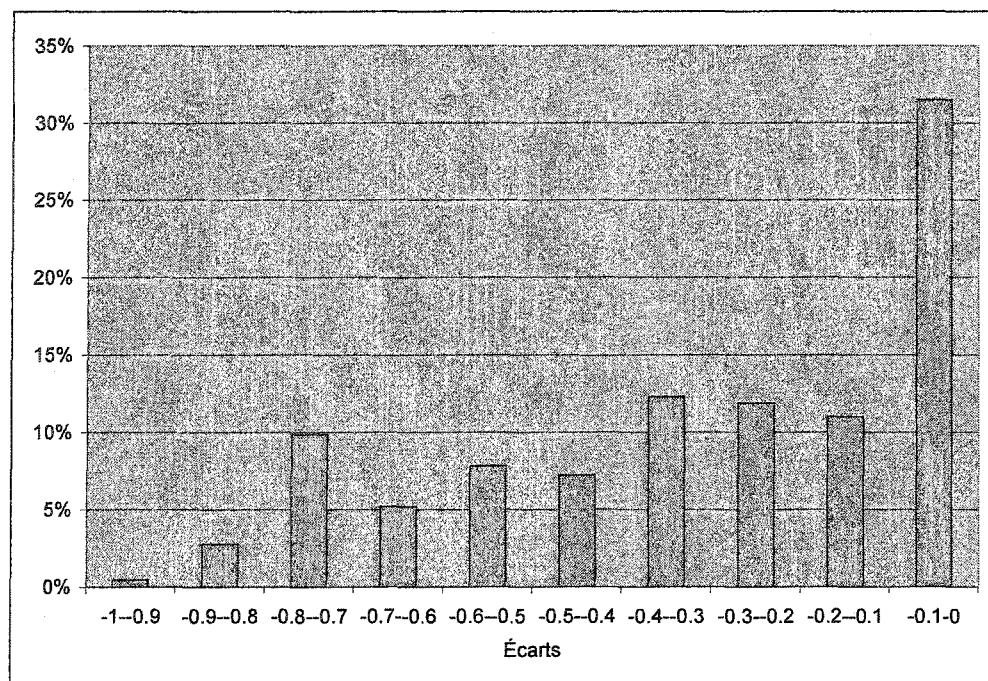


Figure 30 Écarts entre la CIP capacité et la CIP

Tableau VIII

Sommaire des itérations – intégrité fonctionnelle

	Indice IRI	Indice uni dégradations	CIF uni	CIF fluidité	CIF sécurité	CIF
Nombre d'itérations	5	5	5	2	4	2
Statut impératif						
Statut Souhaitable	10.6%	9.0%	9.0%	0.0%	0.8%	8.4%
Statut À surveiller	10.2%	13.2%	9.6%	0.0%	6.6%	9.4%
Statut Excellent	7.8%	74.9%	80.5%	97.9%	52.2%	76.8%

Le même processus que précédemment a été appliqué à la CIF. Cependant, nous avons ajouté à l'évaluation d'indices importants dans le calcul de la CIF uni, soit l'indice IRI et l'indice uni dégradations. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la l'indice IRI, et la CIF uni.

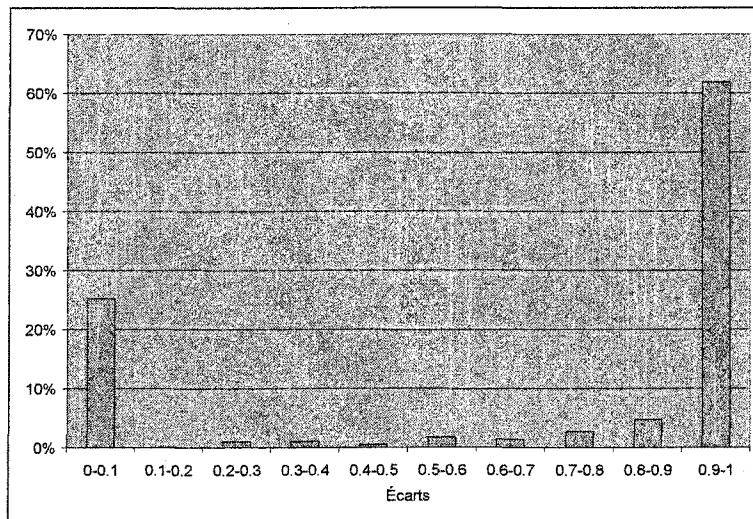


Figure 31 Écarts entre l'indice IRI et la CIF uni

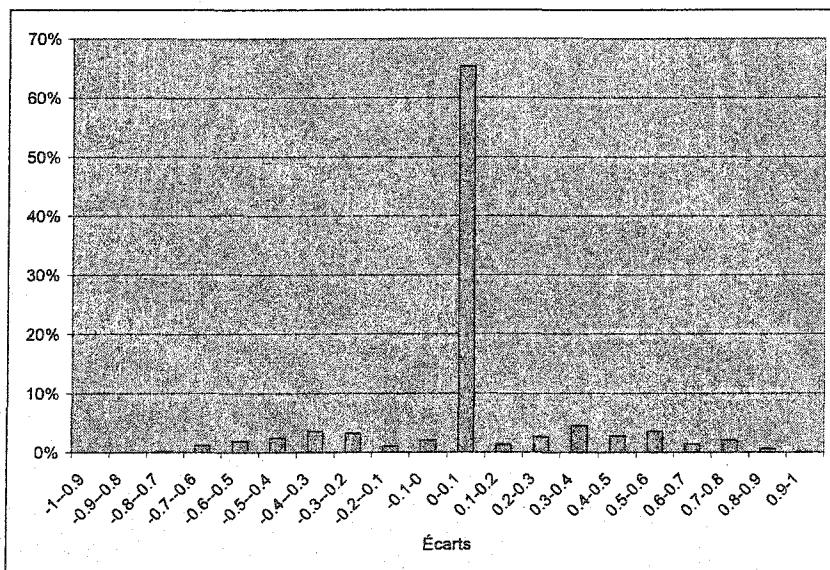


Figure 32 Écarts entre l'indice uni dégradations et la CIF uni

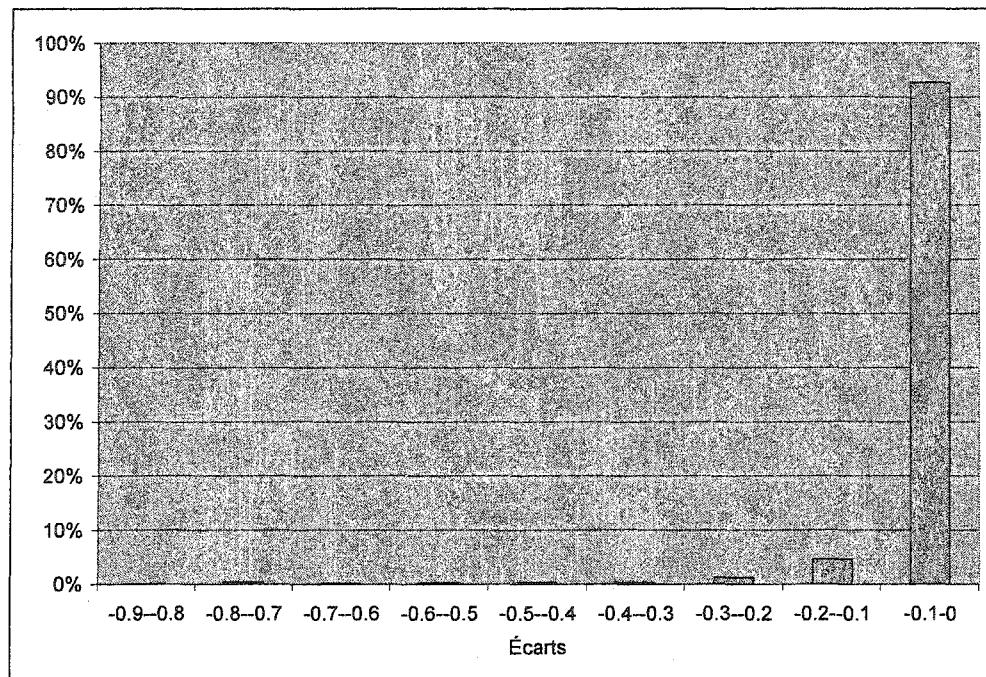


Figure 33 Écarts entre la CIF uni et la CIF

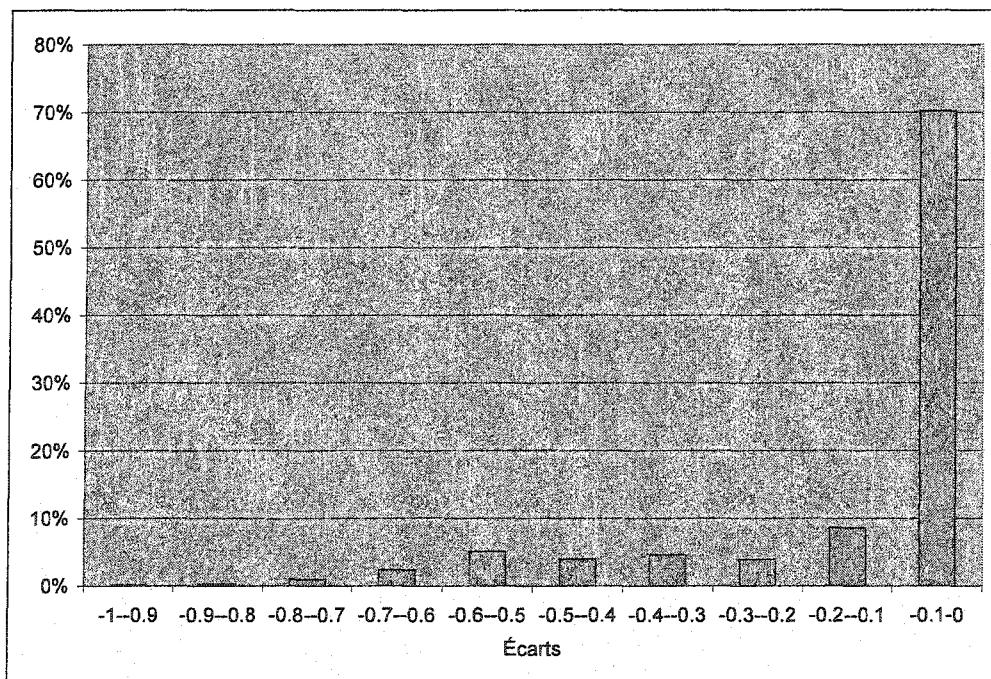


Figure 34 Écarts entre la CIF fluidité et la CIF

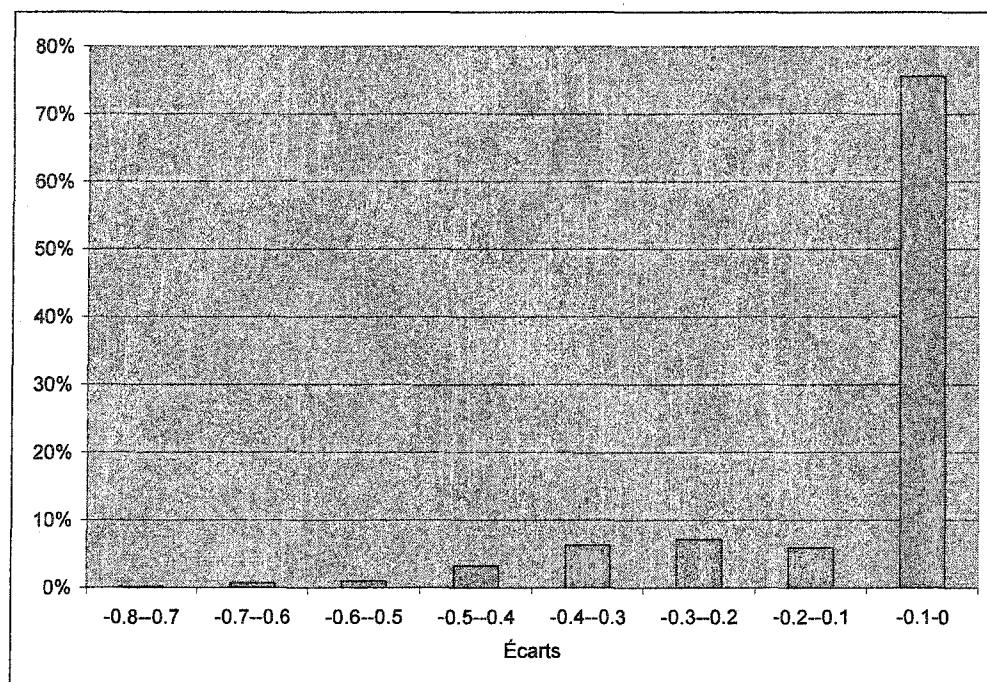


Figure 35 Écarts entre la CIF sécurité et la CIF

Tableau IX

Sommaire des itérations – cotes globales

	CIP	CIF	CIL	CI	CGE	CGEA
Nombre d'itérations	2	2	2	2	3	1
Statut impératif						
Statut Souhaitable	14.7%	8.4%	6.4%	11.4%	16.7%	16.5%
Statut À surveiller	29.3%	9.4%	25.2%	19.5%	28.5%	28.5%
Statut Excellent	46.7%	73.3%	68.9%	60.5%	53.4%	53.9%

Les interventions calculées basées sur l'arbre de décision sont présentées à la figure ci-dessous.

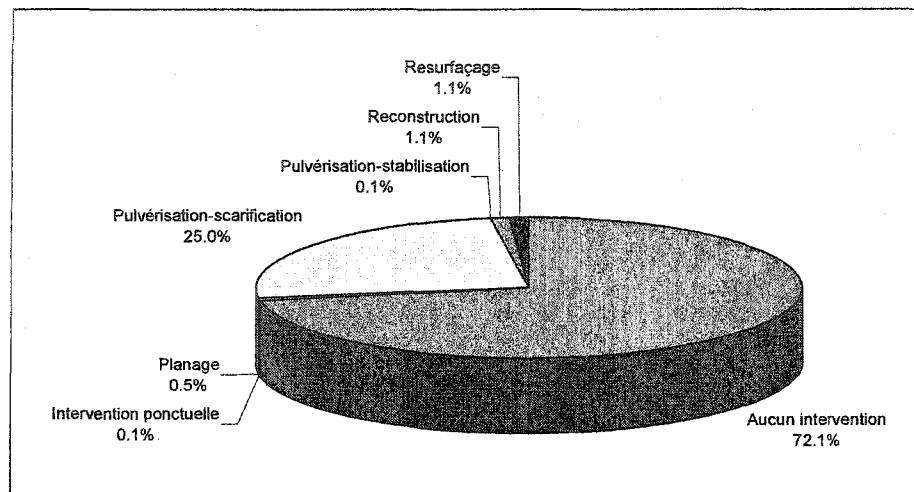


Figure 36 Répartition des interventions calculées selon la longueur

Enfin, nous avons évalué également la sensibilité des cotes sur les cotes globales. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIP envers la CGE, la CIP et la CIF envers la CGE et la CGE envers la CGEA.

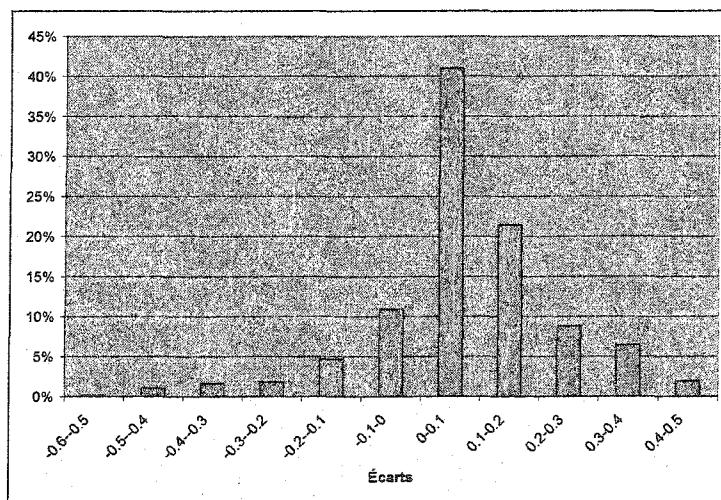


Figure 37 Écarts entre la CIP et la CGE

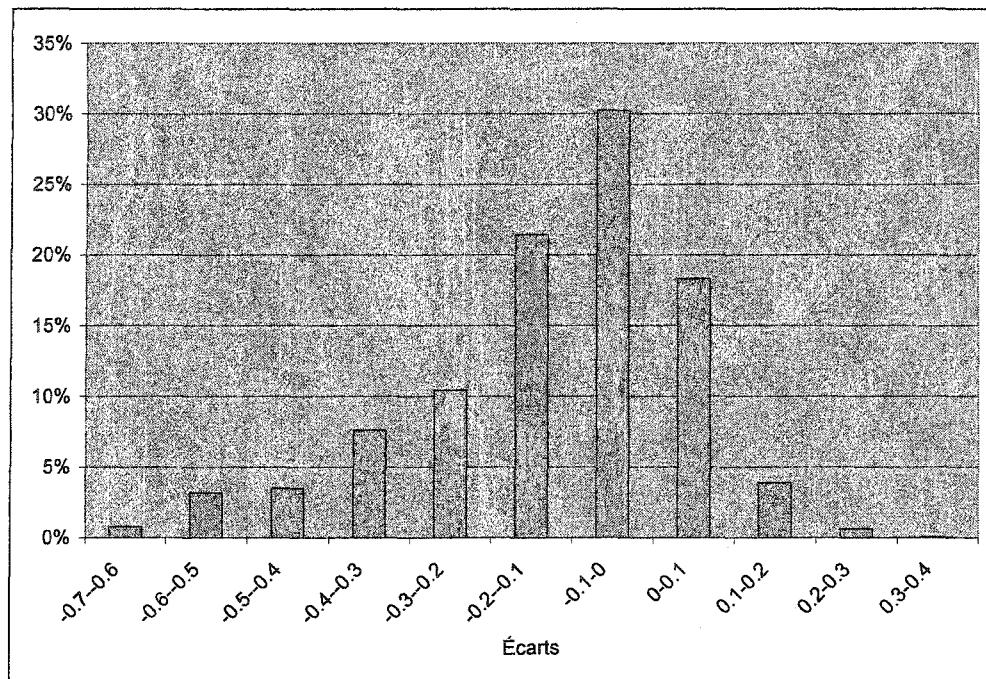


Figure 38 Écarts entre la CIF et la CGE

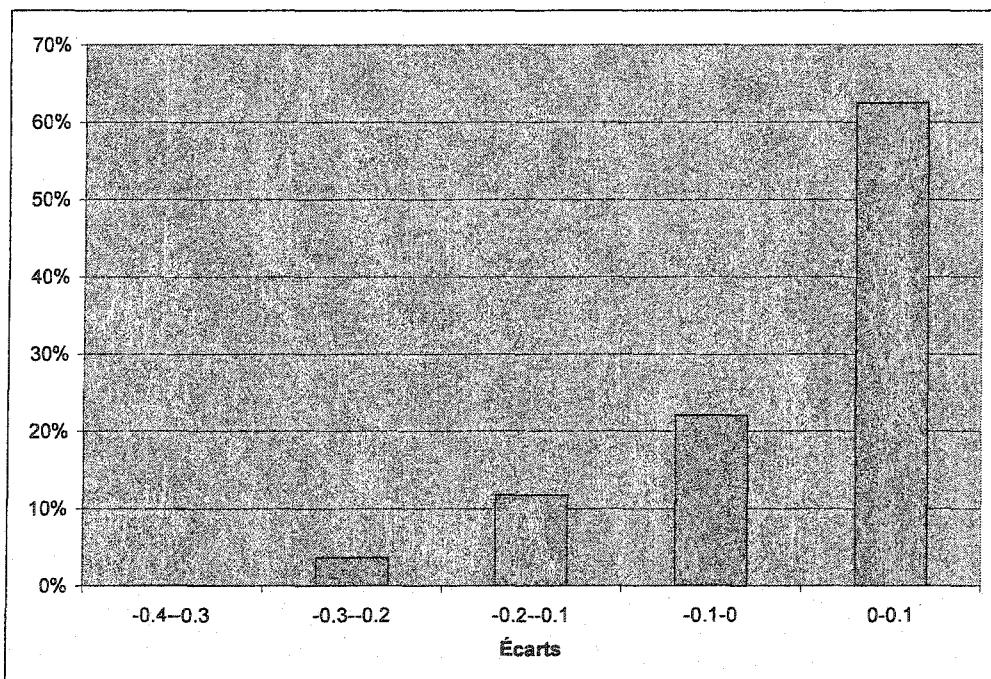


Figure 39 Écarts entre la CIP avec la CIF et la CGE, présentant l'effet de la CIL

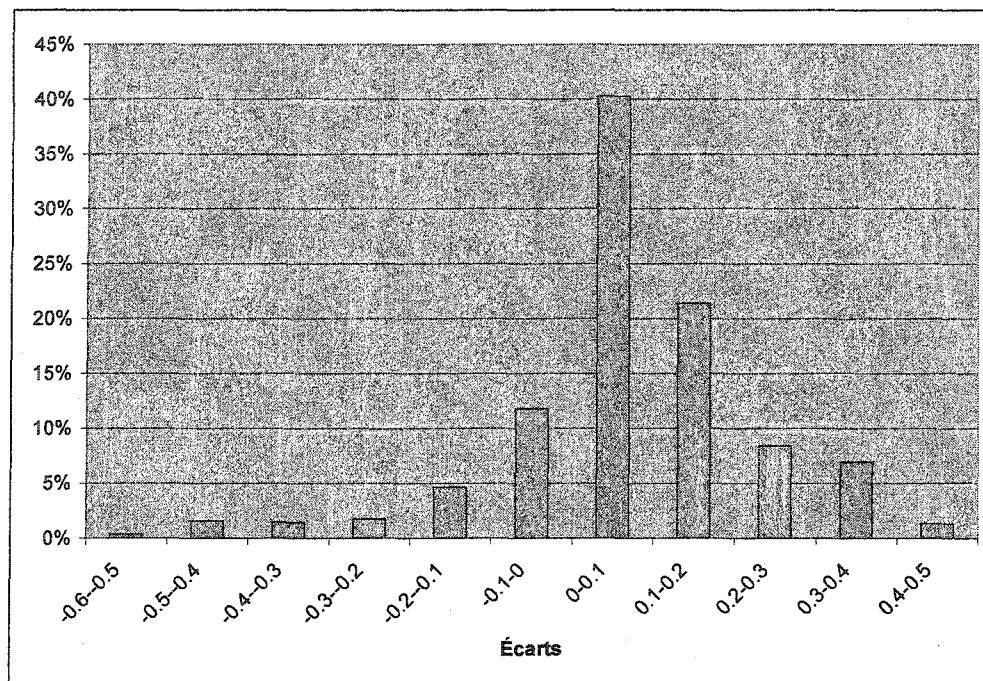


Figure 40 Écarts entre la CIP et la CGEA

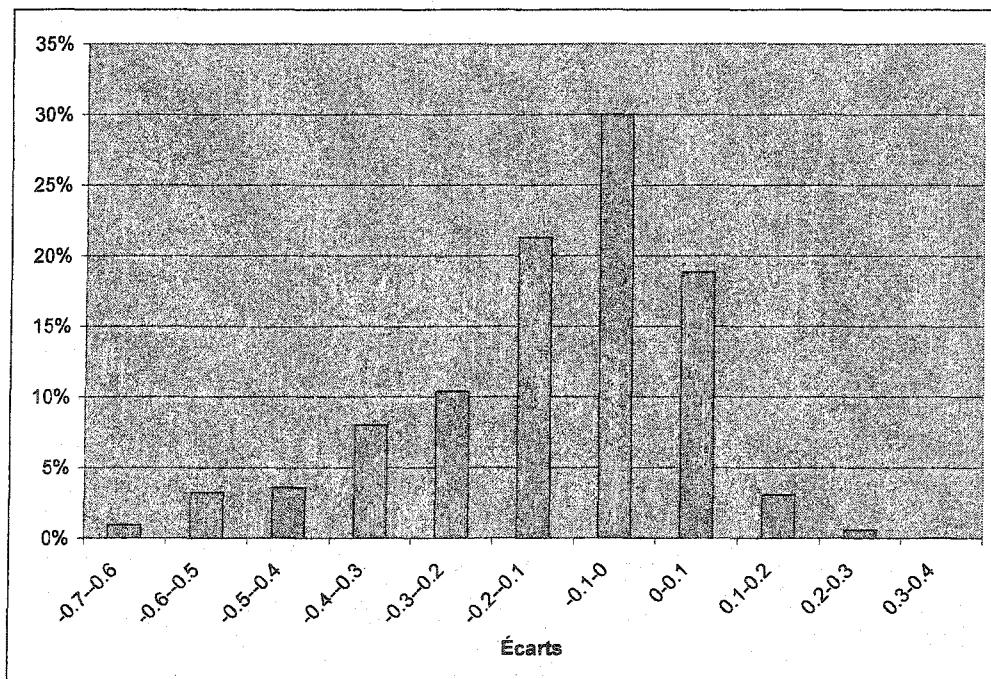


Figure 41 Écarts entre la CIF et la CGEA

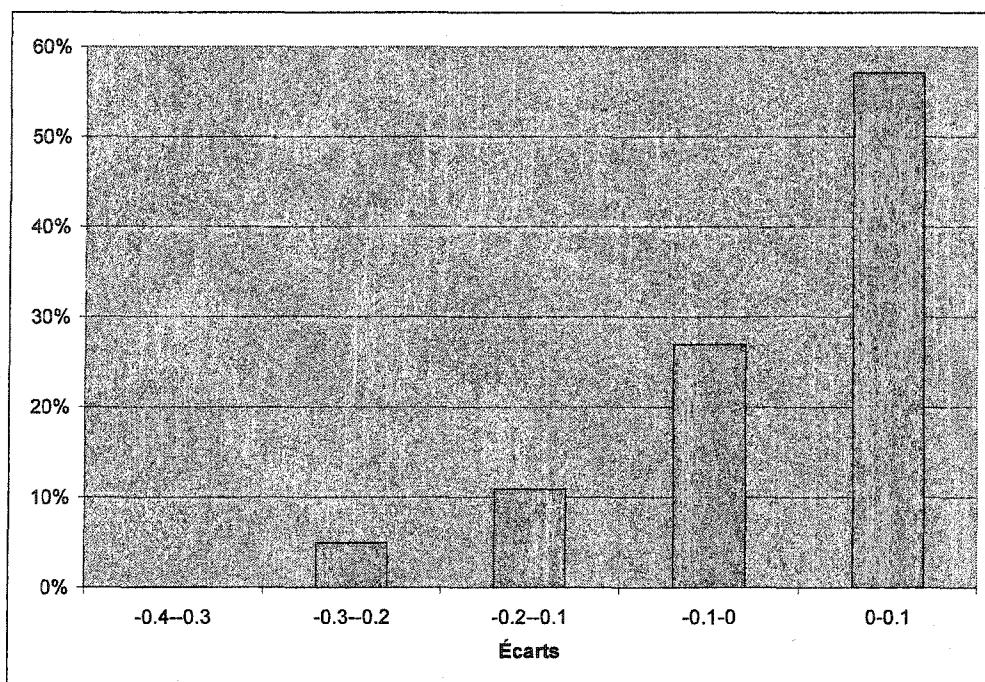


Figure 42 Écarts entre la CIP combinée avec la CIF et la CGEA

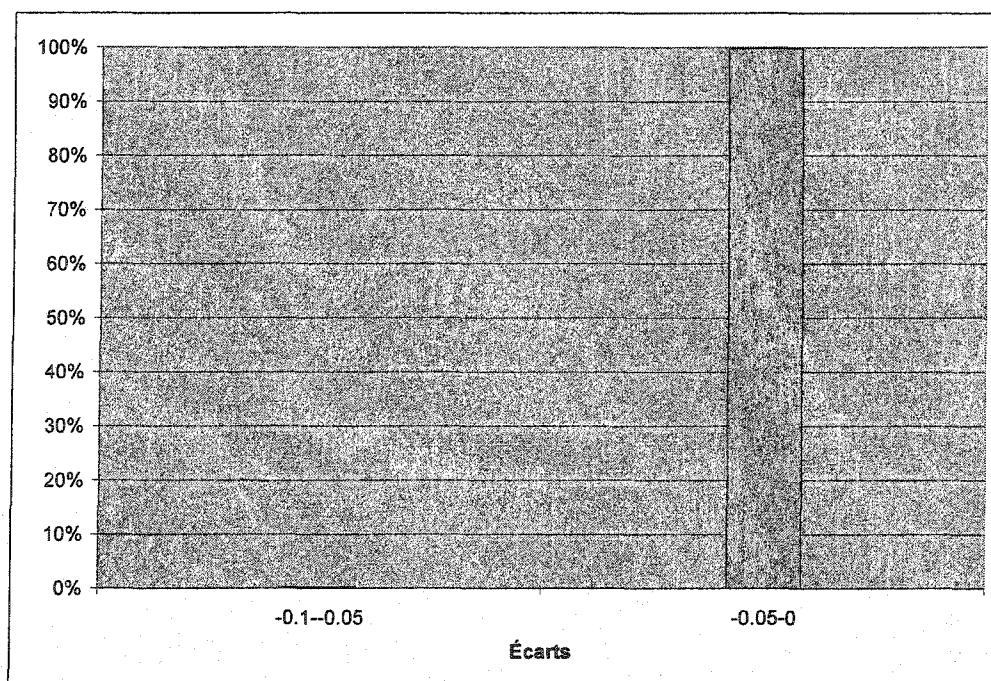


Figure 43 Écarts entre la CGE et la CGEA, présentant l'effet de la CI

Bilan intégré

Tableau X

Sommaire des itérations – cotes globales

	CIPI	CIFI	IPI	IPAI	CGEI	CGEAI
Nombre d'itérations	3	3	3	3	3	3
Statut impératif						
Statut Souhaitable	46.6%	17.6%	33.6%	23.2%	36.4%	35.9%
Statut À surveiller	20.9%	11.2%	15.7%	15.7%	15.7%	15.7%
Statut Excellent	19.0%	45.6%	19.0%	19.0%	12.7%	12.7%

Pour le bilan intégré, nous avons évalué la sensibilité des cotes intégrées sur les cotes globales. Les graphiques ci-contre présentent les écarts obtenus pour la CIPI envers la CGEI, la CIPI et la CIFI envers la CGEI et la CGEI envers la CGEAI.

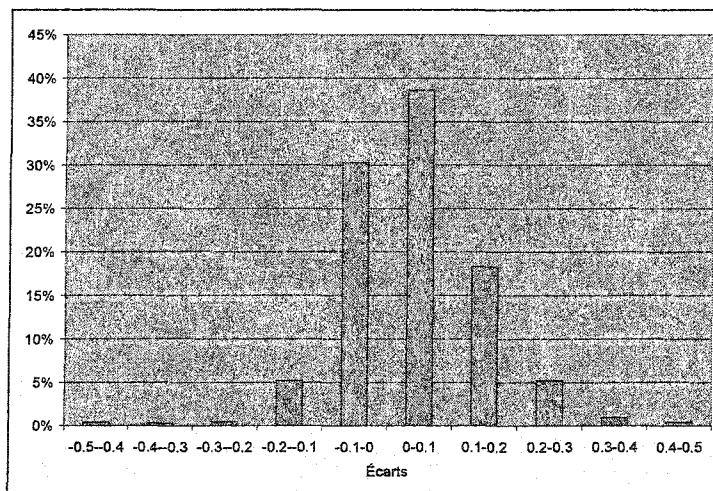


Figure 44 Écarts entre la CIPI et la CGEI

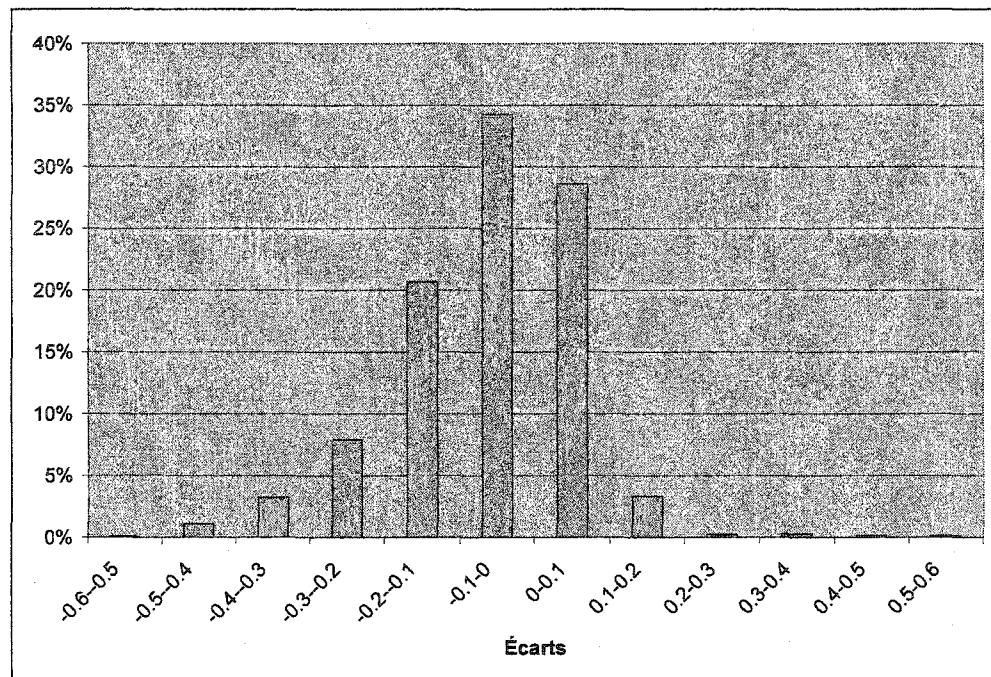


Figure 45 Écarts entre la CIFI et la CGEI

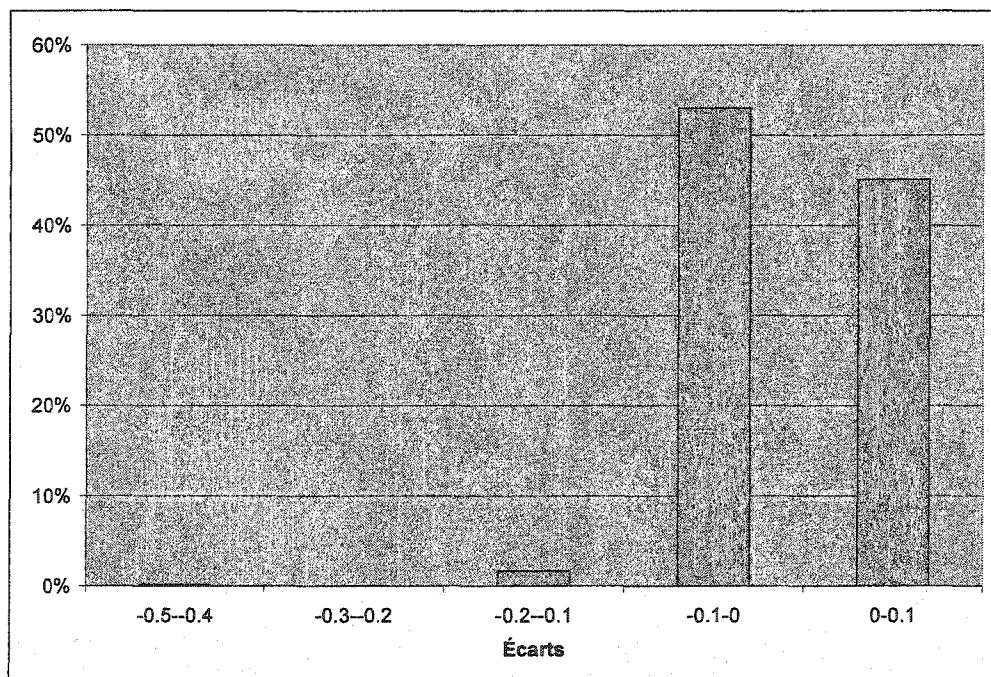


Figure 46 Écarts entre la CIPI avec la CIFI et la CGEI, présentant l'effet de la CILI

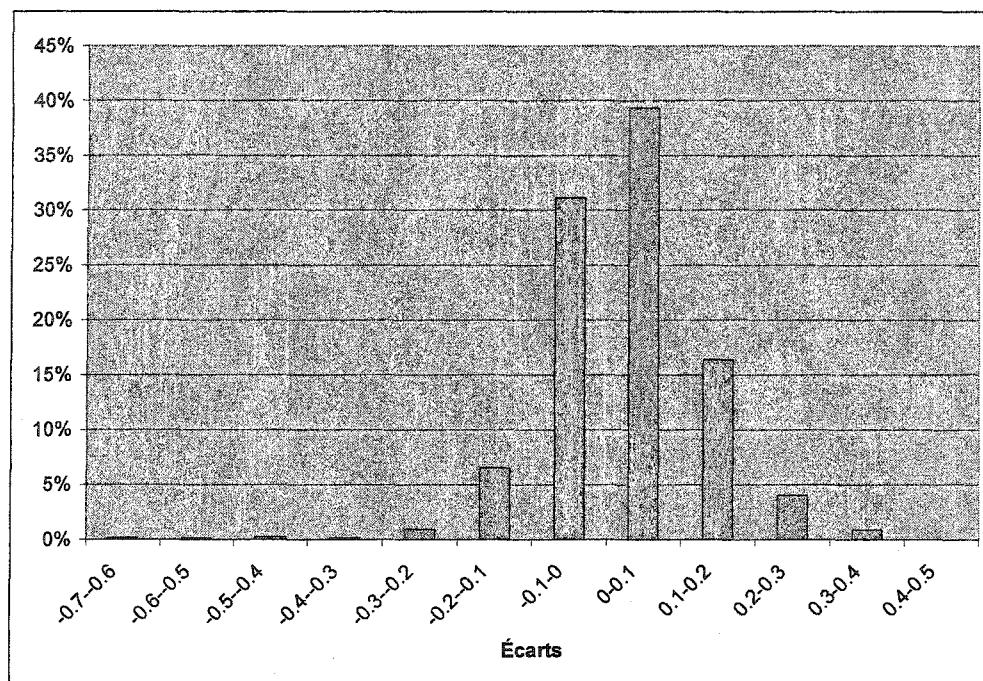


Figure 47 Écarts entre la CIPI et la CGEAI

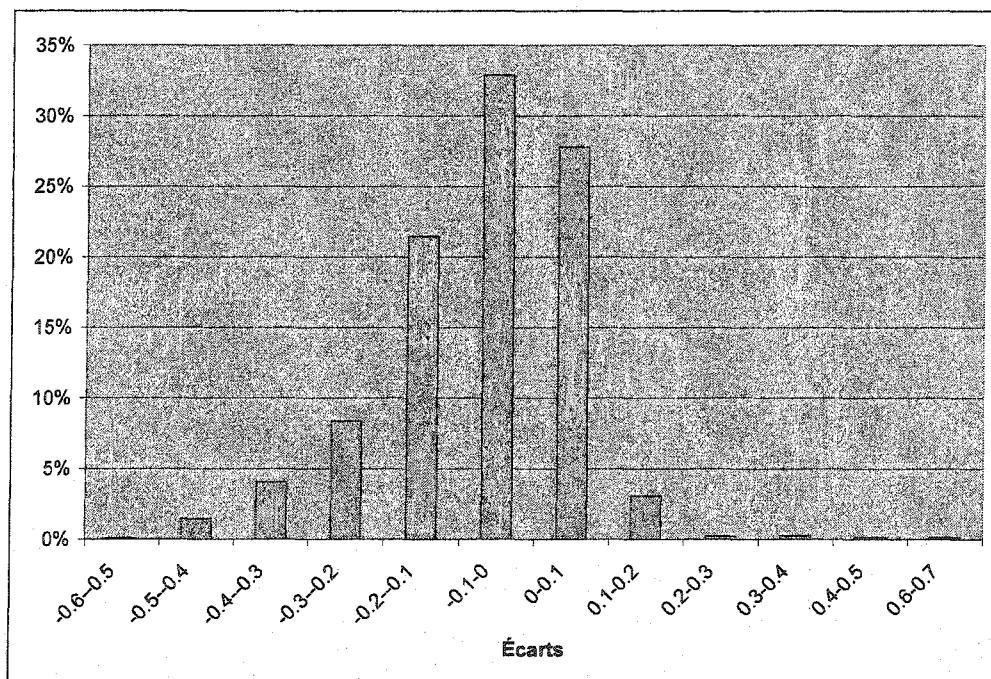


Figure 48 Écarts entre la CIFI et la CGEAI

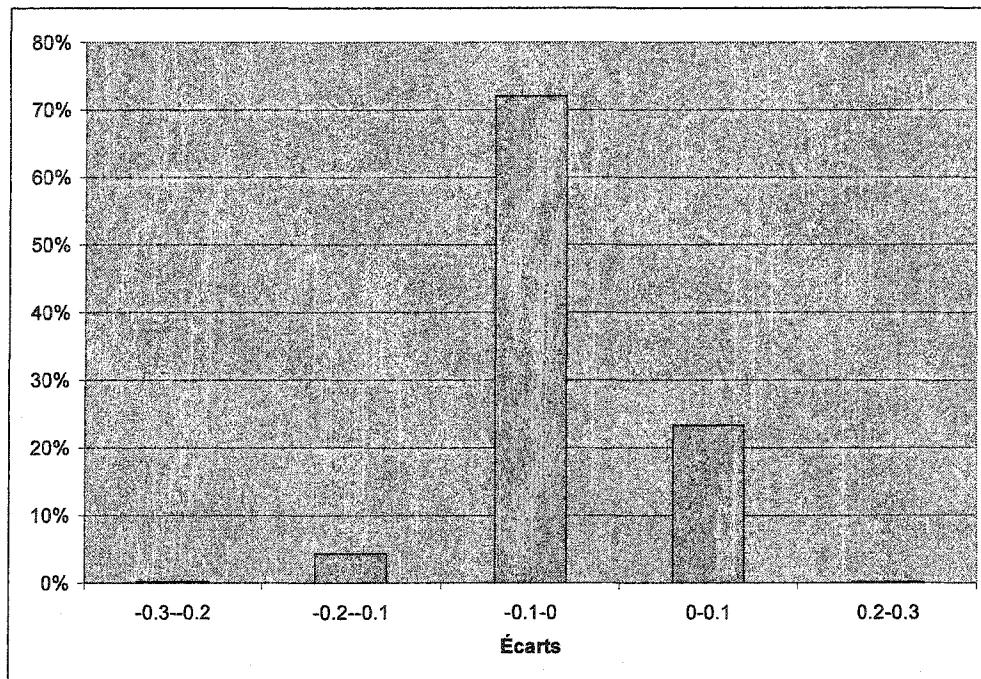


Figure 49 Écarts entre la CIP combinée avec la CIF et la CGEA

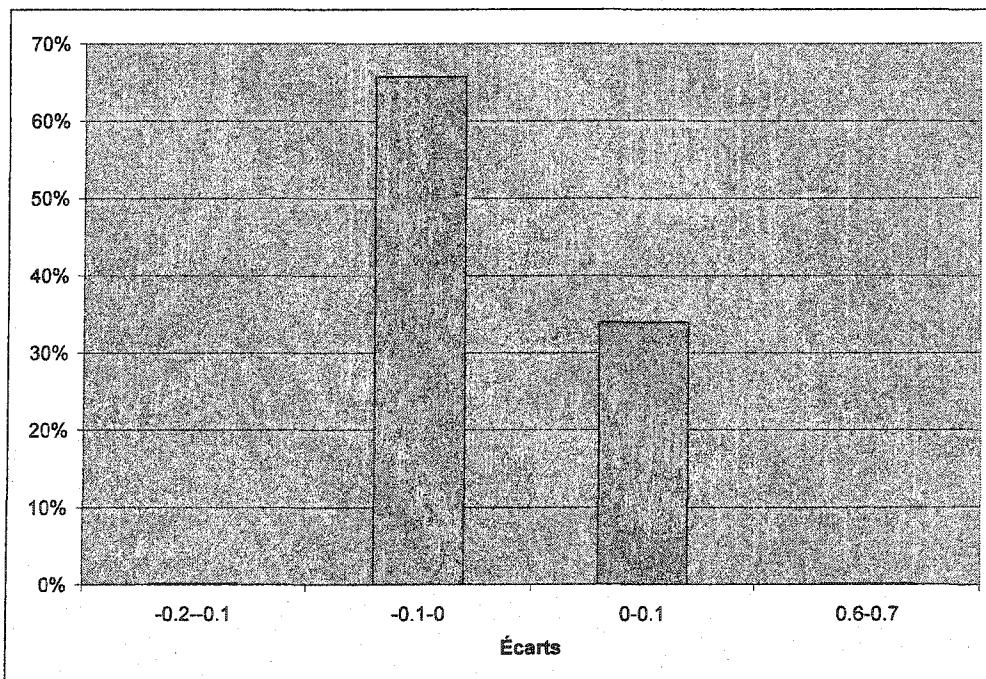


Figure 50 Écarts entre la CGEI et la CGEAI, présentant l'effet de la CII

Plan directeur intégré

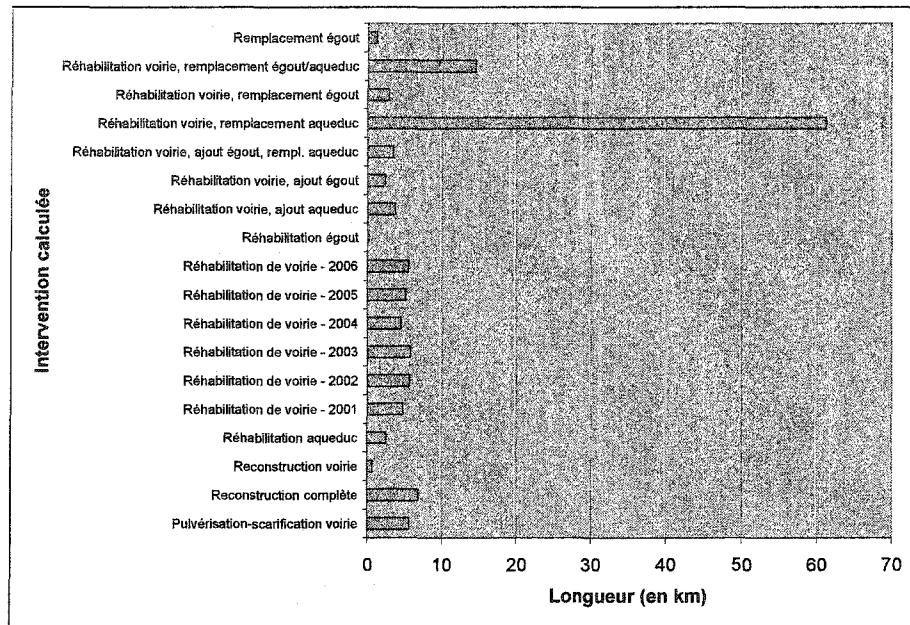


Figure 51 Intervention intégrée calculée selon la longueur

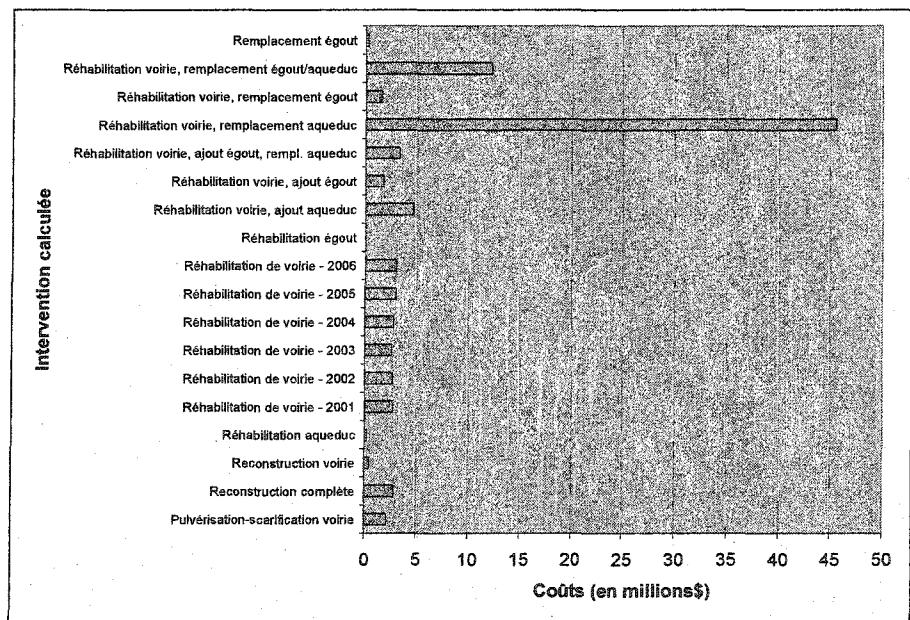


Figure 52 Intervention intégrée calculée selon les coûts

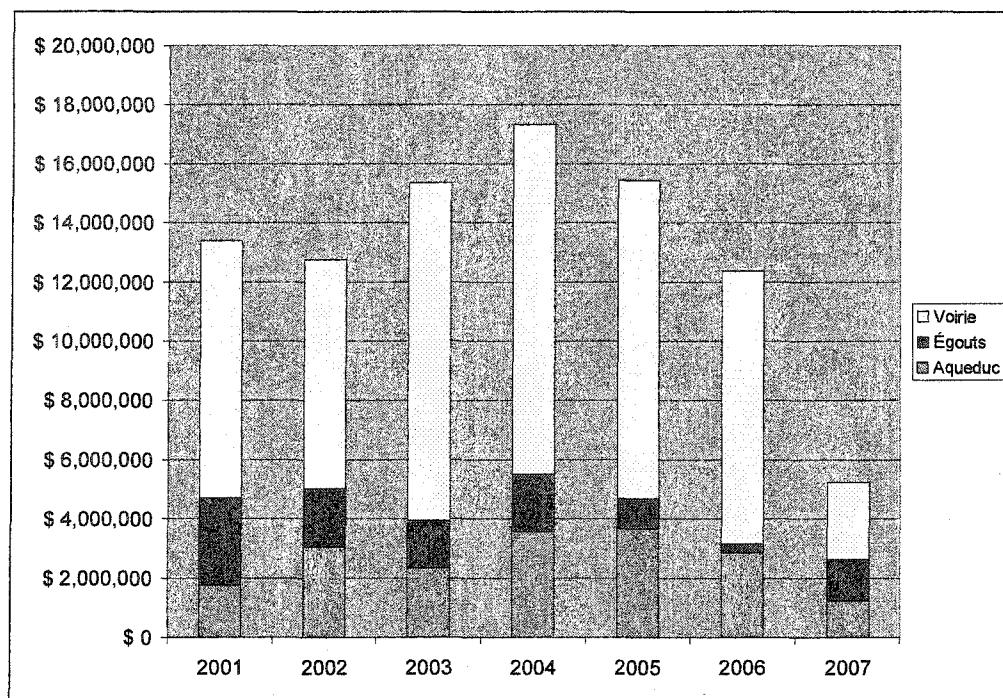


Figure 53 Plan directeur intégré par année, selon les montant par réseau

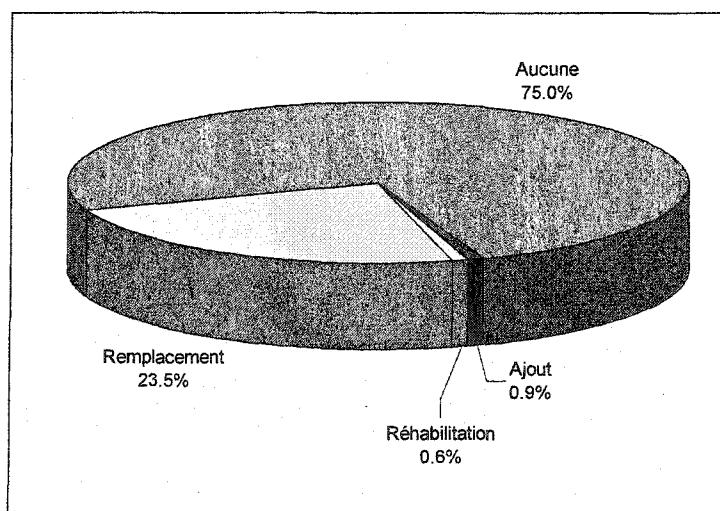


Figure 54 Intervention Aqueduc intégrée calculée selon les longueurs

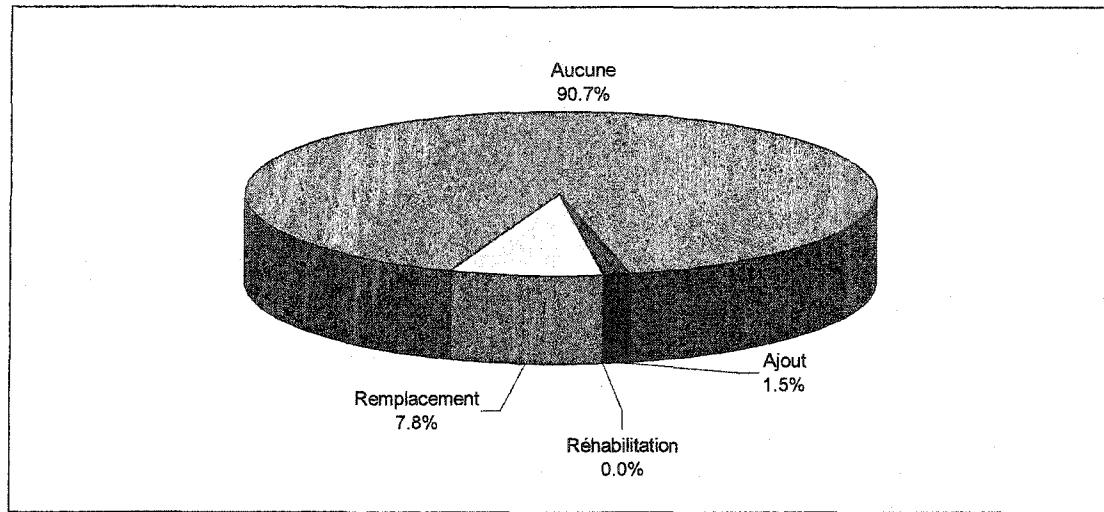


Figure 55 Intervention Égouts intégrée calculée selon les longueurs

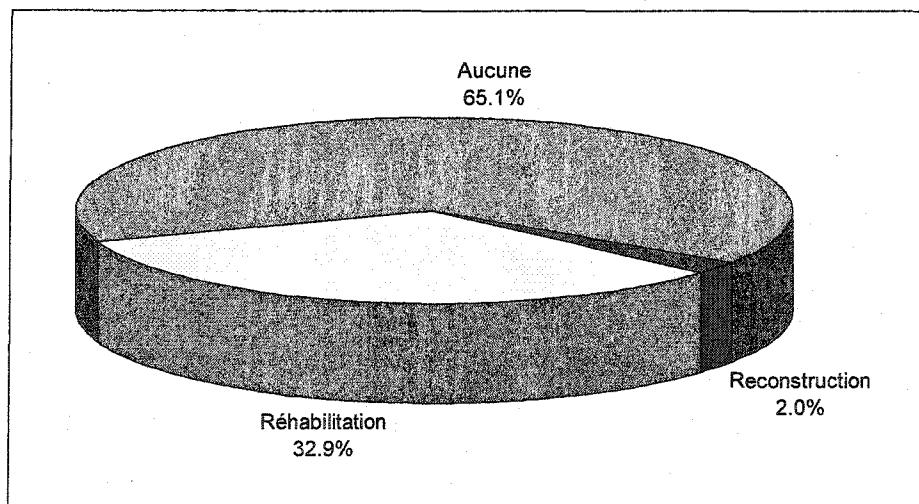


Figure 56 Intervention Voirie intégrée calculée selon les longueurs

ANNEXE 9

Liste des sources d'information

Sources d'information

ID 1 Type de source BD Base de données
Titre bd_teleinpec.mdb
Date de publication Date de mise à jour 2000
Organisme de publication Travaux publics

Description du contenu

Inscriptions télévisées de 1997 à 2000.
Information sur la conduite : ID, code, regard amont, regard aval, longueur inspectée,
raison de l'inspection, date de l'inspection
Liste des observations (défectuosités) : Type de défaut, sévérité (1 à 5 selon le
CERIU), chaînage de début, chaînage de fin, étendue

Note sur la structuration Bien structuré

Note spatiale

Lien avec la carte MapInfo

Note de conversion

Date d'impression : juin 2000.

Sources d'information

ID	2	Type de source	BD	Base de données
Titre	Bornesrv.mdb			
Date de publication			Date de mise à jour	2000
Organisme de publication	Travaux publics			

Description du contenu

Liste de toutes les bornes d'incendie. Champs disponibles: ID, code, zone, marque, modèle, nb de tours, sens d'ouverture, détails sur filets, nombre de bouches, diamètre des bouches, historique des pressions et débits mesurés, couleur de peinture, détail de localisation, propriétaire

Note sur la structuration	Bien structuré, manque au niveau de la localisation descriptive (pas correspondant avec les noms de rues de l'urbanisme)
---------------------------	--

Note spatiale	Lien avec la carte MapInfo
---------------	----------------------------

Note de conversion	
--------------------	--

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	3	Type de source	BD Base de données
Titre	Fuites.mdb		
Date de publication		Date de mise à jour	2000
Organisme de publication	Travaux publics		

Description du contenu

Liste des bris d'aqueduc survenus depuis 1986. Champs disponibles : ID, Date du bris, type de bris, diamètre de la conduite

Note sur la structuration	Bien structuré, manque au niveau de la localisation descriptive (pas correspondant avec les noms de rues de l'urbanisme)
---------------------------	--

Note spatiale	Lien avec la carte MapInfo, manque le lien avec la conduite
---------------	---

Note de conversion	
--------------------	--

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	4	Type de source	BD Base de données
Titre	Genie97.mdb		
Date de publication		Date de mise à jour	2000
Organisme de publication	Services techniques		

Description du contenu

Historique des inspections et des interventions pratiquées sur les chaussées, les bordures et les trottoirs. Champs disponibles:
Chaussées (inspection) : ID de la chaussée, état global sur 10
Chaussées (intervention) : ID de la chaussée, type d'intervention, année de l'intervention
Bordures/Trottoirs (inspection) : ID de la chaussée, Type (bordure/trottoir), côté, état global sur 10
Bordures/Trottoirs (intervention) : ID de la chaussée, Type (bordure/trottoir), côté, type d'intervention, année de l'intervention
L'information est accompagnée de commentaires

Note sur la structuration Il manque des relations entre les chaussées et les bordures.

Note spatiale

Le lien avec la carte MapInfo pour la chaussée est correct. Il n'y a toutefois pas de lien entre la carte et les bordures/trottoirs.

Note de conversion

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID Type de source BD
Titre
Date de publication Date de mise à jour
Organisme de publication

Description du contenu

L'information est partielle. Le changement de responsabilité a occasionné un abandon de la gestion de ces données. Seuls champs: ID, Diamètre

Note sur la structuration**Note spatiale****Note de conversion**

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	6	Type de source	BD	Base de données
Titre	Regardat.mdb			
Date de publication			Date de mise à jour	2000
Organisme de publication	Travaux publics			

Description du contenu

Liste des regards gérés par les travaux publics. Champs disponibles :
Regards (inventaire) : ID, code, détail de localisation, diamètre, type de grille, profondeur, élévation du couvercle, élévation du fond
Regards (inspection) : ID, cote d'état portant sur la tête, la section, le cadre, le couvercle, la base et l'échelon, date de l'inspection

Note sur la structuration **Bien structuré**

Note spatiale **Lien avec la carte MapInfo**

Note de conversion

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID Type de source BD

Titre

Date de publication Date de mise à jour

Organisme de publication

Description du contenu

Information très partielle sur les robinets présents pour écoulement contre le gel ou pour la qualité de l'eau

Note sur la structuration**Note spatiale**

Localisation très difficile, aucun lien avec la carte MapInfo

Note de conversion

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	8	Type de source	CN	Carte numérique
Titre	Plans AutoCAD/MapInfo			
Date de publication			Date de mise à jour	2000
Organisme de publication	Travaux publics			

Description du contenu

Cartes numérisées présentant une multitudes de couches d'information. Entre autres, notons : Conduites d'aqueduc, bornes d'incendie, vannes d'aqueduc, regards (3 couches pour présenter les différents réseaux - pluvial, sanitaire, combiné), conduites d'égouts (3 couches pour présenter les différents réseaux - pluvial, sanitaire, combiné), centre de rue, noms de rues, centroïdes de propriété, bords de rue, lignes ferroviaires, cours d'eau, limites de municipalité, etc.

Note sur la structuration La plupart sont bien structurés

Note spatiale

Note de conversion

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	9	Type de source	BD	Base de données
Titre	TUM			
Date de publication		Date de mise à jour	2000	
Organisme de publication	Travaux publics			

Description du contenu

Système de gestion des relevés d'état aux bornes d'incendie. Système fermé qui ne permet pas d'extraire l'information facilement. Champs disponibles : Code, pression statique mesurée, pression résiduelle mesurée, débit mesuré, débit calculé à 20 psi, débit calculé à 0 psi, couleur selon la norme des assureurs

Note sur la structuration Très difficile

Note spatiale

Seul le code permet de répertorier le lien avec la carte
MapInfo

Note de conversion

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	10	Type de source	BD Base de données
Titre	Sirdu-PC		
Date de publication		Date de mise à jour	1997
Organisme de publication	Services techniques		

Description du contenu

Modèle hydraulique simulant les conduites d'égouts pluviales et combinées. Seules les conduites de plus de 375 mm de diamètres ont été intégrées. L'information intéressante à récupérer est la surface tributaire des conduites, le coefficient de perméabilité et le coefficient de Manning.

Note sur la structuration **Très difficile**

Note spatiale **Aucune correspondance entre les conduites du plan et celles contenues dans Sirdu-PC**

Note de conversion

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	12	Type de source	CP	Carte papier ou plan conventionnel
Titre	Plan des parcours d'autobus			
Date de publication			Date de mise à jour	2000
Organisme de publication	STCUQ			

Description du contenu

Plan représentant les circuits d'autobus

Note sur la structuration**Note spatiale****Note de conversion**

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	13	Type de source	LT	Liste simple sur papier
Titre	Liste des projets annuel, référence aux archives			
Date de publication			Date de mise à jour	
Organisme de publication	Services techniques			

Description du contenu

Liste des projets. Information disponible : Année, type de travaux, rues, peu de détail sur la nature des travaux

Note sur la structuration **Tout doit être associé à la main**

Note spatiale

Note de conversion

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	15	Type de source	CP	Carte papier ou plan conventionnel
Titre	Devis et Plans tels que construits, d'après l'année.			
Date de publication	1930	Date de mise à jour	2000	
Organisme de publication	Variables			

Description du contenu

Configuration des réseaux avec certains détails de construction. Information disponible :

Aqueduc : Diamètre, profondeur, année, matériau, longueur

Égouts : Type de réseau, diamètre, pente, profondeur, année, radiers, matériau, longueur

Voirie : Coupe type, épaisseur de matériaux, calibre de matériaux, longueur, largeur, présence de bordure/trottoir

La fiabilité des informations contenues sur un Plan tel que construit peut varier.

Note sur la structuration Toute association doit être faite à la main.

Note spatiale

--

Note de conversion

--

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	16	Type de source	RG	Registre papier avec formulaire
Titre	Cahiers des inspections télévisées			
Date de publication	1992	Date de mise à jour	2000	
Organisme de publication	Travaux publics			

Description du contenu

Cahiers renfermant les informations sur les inspections télévisées de conduites d'égouts. À partir de 1997, le standard du CERIU est mieux respecté. Avant 1997, la codification des défauts est relatif au sous-traitant mandaté. Information disponible : Détail de l'inspection, photos

Note sur la structuration**Note spatiale****Note de conversion**

Les plus récentes ont été converties dans la base de données bd_téléinspect.mdb

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	17	Type de source	BD	Base de données
Titre	Inspection visuelle avec relevé d'IRI et capacité portante			
Date de publication	1998	Date de mise à jour	-	
Organisme de publication	SETRA			

Description du contenu

Inspection visuelle portant sur les défauts (standard du MTQ modifié) Relevé d'IRI avec roulemètre sur une partie du réseau (artériel, collectrice, transport en commun) Relevé de capacité portante sur une partie du réseau (artériel, collectrice, transport en commun)
--

Note sur la structuration	Conforme aux spécifications
---------------------------	-----------------------------

Note spatiale

--

Note de conversion

--

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	18	Type de source	BD Base de données
Titre	Inspection télévisée de conduites d'égouts		
Date de publication	1999	Date de mise à jour	2000
Organisme de publication	Drains JMC		

Description du contenu

Inspection télévisée portant sur les défauts (standard du CERIU)

Note sur la structuration Conforme aux spécifications

Note spatiale

Note de conversion

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID **19** Type de source CN Carte numérique

Titre **Étude de résistivité des sols**

Date de publication **1999** Date de mise à jour **-**

Organisme de publication **CPI Corrosion**

Description du contenu

Carte numérique représentant les zones de résistivité par pallier. La carte a été basée sur une série de 300 mesures faites à des endroits stratégiques (près des conduites métalliques d'aqueduc)

Note sur la structuration **Conforme aux spécifications**

Note spatiale

Note de conversion

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	20	Type de source	BD Base de données
Titre	Modèle hydraulique du réseau d'aqueduc		
Date de publication	1999	Date de mise à jour	
Organisme de publication	AquaData		

Description du contenu

Modélisation hydraulique de l'ensemble du réseau de distribution de l'eau potable.

Note sur la structuration L'intégration des plans déjà structurés de la Ville n'a pu être effectuée. Une conversion a dû être pratiquée.

Note spatiale

--

Note de conversion

Conversion pour rétablir la correspondance entre les conduites de AutoCad/MapInfo et celles du modèle hydraulique

Date d'impression : juin 2000

Sources d'information

ID	21	Type de source	RN	Registre numérique (chiffrier)
Titre	Modèle hydraulique du réseau pluvial et combiné			
Date de publication	1999	Date de mise à jour	-	
Organisme de publication	Dessau-Soprin			

Description du contenu

Modélisation hydraulique dans le logiciel XP-SWMM qui couvrait l'ensemble des conduites d'égouts pluviales et combinées.

Note sur la structuration Conforme aux spécifications

Note spatiale

Note de conversion Le fichier utilisé par le logiciel étant un fichier texte, il a fallu extraire l'information par une conversion particulière.

Date d'impression : juin 2000

BIBLIOGRAPHIE

- AASHTO. (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures*: American association of state highway and transportation officials.
- Amiri, A., St-Laurent, D., Lefrançois, P., Bizier, J., et Giguère, T. (1997). *Portrait de la capacité de support du réseau québécois par auscultation dynalect*: Ministère des Transports du Québec.
- ASTM. (1999). *D6433-99 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*: ASTM International.
- AWWA. (2003). *Asset Management: A Handbook for Small Water Systems*.
- Baik, H. S., Abraham, D. M., et Gokhale, S. (2002). *Decision support system for selection of trenchless technologies*. Paper presented at the NO-DIG 2002, Montreal, Quebec, CANADA.
- Bégin, L. (1997). *Development and implementation of an integrated infrastructure management system (IIMS) for the city of Nepean*. Paper presented at the INFRA97, Montreal, Quebec, CANADA.
- Bengassem, J. (2001). *Elaboration d'un système d'aide au diagnostic hydraulique et structural des réseaux d'assainissement urbains*. École de technologie supérieure, Montréal.
- Bengassem, J., Bennis, S., et Rhouzlane, S. (2000). *Système d'aide au diagnostic structural des réseaux d'assainissement urbains*. Paper presented at the INFRA2000, Montreal, Quebec, CANADA.
- Bergeron, J., et Curodeau, D. (1998). *Ville de Sainte-Foy - Expérimentation d'un SIAD*. Paper presented at the Conférence internationale, Montréal, Québec, CANADA.
- Board, T. R. (1994). *Highway Capacity Manual (Special Report 209)*. Washington D.C., U.S.A.: National Research Council.
- Board, T. R. (1996). *Highway capacity analysis for interrupted and uninterrupted flow facilities (TRB no. 1555)*. Washington D.C., U.S.A.: National Research Council.

Botzung, P., et Madiec, H. (1994, 20-21 octobre 1994). *Mise en oeuvre d'une modélisation probabiliste pour l'organisation du renouvellement d'un réseau d'eau potable*. Paper presented at the Colloque sur le renouvellement des réseaux d'eau potable, Lyon, FRANCE.

Burns, P., Hope, D., et Roorda, J. (1999). Managing infrastructure for the next generation. *Automation in Construction*, 8(6), 689-703.

Chartrand, L. (1991). *L'uni des chaussées et la gestion routière* (projet 4220-88-CZ01, rapport volume 1): Ministère des Transports du Québec.

Chevalier, M. (1996). *Entre la construction et la réhabilitation: les systèmes d'information des Travaux publics*. Paper presented at the INFRA 96, Montréal, Qc, CANADA.

Clancy, D. V., Gustafson, J.-M., et Higgins, L. (2002). Economical Sewer Main Rehabilitation Utilizing ArcGIS and Dynamic Segmentation. *ESRI*, 1-22.

Clark, R. M., Goodrich, J. A., et Wymer, L. J. (1993). Effect of distribution system on drinking water quality. *Journal Water SRT - Aqua*, 42(1), 30-38.

Collicott, K. G. (2003). *Developing a water distribution system renewal plan*. Paper presented at the INFRA2003, Montreal, Quebec, CANADA.

Collicott, K. G., et Filion, Y. R. (2002). *Best practice for inspection of water distribution systems*. Paper presented at the INFRA2002, Montreal, Quebec, CANADA.

Consultik. (2000a). *L'approche Consultik, la planification intégrée des travaux majeurs pour les réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie*. Pont-Rouge: Consultik ltée.

Consultik. (2000b). SIAD-Ville de Sainte-Foy, une réussite à partager (pp. 1-8).

Courtemanche, D. (2002, 25-27 novembre 2002). *Modèle hydraulique - outils de gestion et d'analyse des réseaux outils de gestion et d'analyse des réseaux de distribution d'eau*. Paper presented at the INFRA 2002, Montréal, Québec, CANADA.

Curodeau, D. (1998). *Particularités du marché*: Consultik ltée.

Curodeau, D., et Lalonde, É. (1998). *Flux de production*: Consultik ltée.

Curodeau, D., Lalonde, É., et Legras, J. (1998). *Problématiques et opportunités*: Consultik ltée.

- Deb, A. K. (1994). Water distribution system performance indicators. *Water Supply Proceedings of the IWSA Regional Conference on Rehabilitation, May 16-20 1994*, 12(3-4), 11-20.
- Demassue, J. L. (1996). Measuring water distribution system performance. *Water Supply*, 14(1), 35-43.
- Dietrich, S. (1995). *Diagnosis and assessment of damaged sewers concerning their structural capacity*. Paper presented at the International Conference on Advances in Underground Pipeline Engineering.
- Durand, J.-M. (1993). *Manuel d'identification des dégradations des chaussées flexibles*: Ministère des transports du Québec.
- Engineers, U. S. A. C. o. (1989). *Micro Paver, user's guide*: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- EPA. (2000). *EPANET 2 - Users Manual*.
- EPA. (2004). *Manual for EPA SWMM 5 BETA 'D'*.
- Felio, G. (1997). Évaluer pour ne pas réinventer la roue janvier 1997. *Les cahiers du génie urbain*(Janvier 1997), 45-46.
- Fortin, P., Boileau, S., Montplaisir, L., et Désilets, J. (2003). *Application de l'analyse multicritère au système d'aide à la décision de la Ville de Longueuil*. Paper presented at the INFRA2003, Montreal, Quebec, CANADA.
- Galeziewski, T. M., Edmondson, S. A., et Webb, R. (1995, Jun 25-28 1995). *Condition assessment and rehabilitation program for large diameter sanitary sewers in Phoenix, Arizona*. Paper presented at the Proceedings of the 2nd International Conference on Advances in Underground Pipeline Engineering, Bellevue, WA, USA.
- Gohier, L. (2000). *Durabilité, un concept mou II: les résultats gestion des infrastructures : l'approche du gestionnaire, non de l'ingénieur ou du comptable*. Paper presented at the INFRA2000, Montreal, Quebec, CANADA.
- Haas, R. (1994). *Modern Pavement Management*. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company.

Haas, R., Tighe, S., et Cowe Falls, L. (2003, September 21-24). *Generic protocol for long life pavements cost analysis*. Paper presented at the Annual Conference of the Transportation Association of Canada, St. John's, Newfoundland and Labrador, CANADA.

Haddon, W. (1972). A logical Framework for categorizing Highway Safety Phenomena and Activity. *Journal of Trauma*, 12.

Hahn, M. A., Palmer, R. N., et Merrill, M. S. (1999, June 6-9, 1999). *Prioritizing Sewer Line Inspection with an Expert System*. Paper presented at the Water Resources Planning and Management Conference '99 - Preparing for the 21st Century, Tempe, Arizona, USA.

Hahn, M. A., Palmer, R. N., Merrill, M. S., et Lukas, A. B. (2000, July 30-August 2, 2000). *Knowledge Acquisition and Validation of an Expert System for Prioritizing the Inspection of Sewers*. Paper presented at the Building Partnerships - 2000 Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning et Management, Minneapolis, Minnesota, USA.

Henderson, M. J., et McTaggart, G. R. (2002). *The development and implementation of a municipal infrastructure management system: A case history*. Paper presented at the NO-DIG 2002, Montreal, Quebec, CANADA.

Herbert, H. (1994). Technical and economic criteria determining the rehabilitation and/or renewal of drinking water pipelines. *Water Supply Proceedings of the IWSA Regional Conference on Rehabilitation, May 16-20 1994*, 12(3-4), 105-117.

Herz, R. K. (2002). *Software for Strategic Network Rehabilitation and Investment Planning*. Paper presented at the Computer Aided Rehabilitation of Water Networks: CARE-W Eurokonferenz Dresden 2002, Dresden, Germany.

Higgins, L. (2003). *Municipal Infrastructure Asset Management*.

Higgins, L., Gustafson, J.-M., et Clancy, D. V. (2002). *Integrated Infrastructure Management Decision-Making Using ArcGIS*. Paper presented at the ESRI User Conference.

HILL, C. M. (1999). *Water Distribution Hydraulic Model Selection: Orange Water and Sewer Authority (OWASA)*.

Hodgson, J., et al., e. (2004). *Examen et évaluation d'un réseau de collecte d'eaux pluviales ou d'eaux usées*. Ottawa, On, CANADA: NRC.

- IRC. (2001). *Guide pour l'évaluation de l'état et la réhabilitation des égouts collecteurs.*
- Kim, J. H., et Mays, L. W. (1994). Optimal rehabilitation model for water-distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120(5), 674-692.
- Kleiner, Y., et Rajani, B. (1999). Using limited data to assess future needs. *American Water Works Association Journal*, 91(7), 47-61.
- Kleiner, Y., et Rajani, B. (2003, June 15-19, 2003). *Water main assets: from deterioration to renewal.* Paper presented at the AWWA Annual Conference, Anaheim, Ca., U.S.A.
- Klusman, R. (1995). Establishing proactive maintenance management. *Water/Engineering and Management*, 142(1), 16-18.
- Kutz, S. A. (1995). Chicago remaps itself. *Civil Engineering (New York)*, 65(6), 52-54.
- Lalonde, É., et Bégin, L. (2003, 18 novembre 2003). *Innovative computerized approach to asset management National Defence of Canada Case Study.* Paper presented at the INFRA 2003, Montréal, Québec, CANADA.
- Lalonde, É., et Curodeau, D. (1998a). *Description des systèmes actuels:* Consultik ltée.
- Lalonde, É., et Curodeau, D. (1998b, 24-26 novembre 1998). *Ville de Sainte-Foy - Expérimentation d'un SIAD.* Paper presented at the INFRA 98, Montréal, Québec, CANADA.
- Lalonde, É., Isenor, G., Lewis, P., et Landry, B. (2003, 18 novembre 2003). *Étude de cas : Ville de Moncton, Étude d'évaluation des besoins - Conduites d'eau du réseau de transport et de distribution.* Paper presented at the INFRA 2003, Montréal, Québec, CANADA.
- Lalonde, É., et Pelletier, L. O. (1999, Novembre 1999). *Résultats de l'expérimentation d'un SIAD en infrastructure urbaine à la ville de Sainte-Foy.* Paper presented at the INFRA 99, Montreal, Quebec, Canada.
- Lalonde, É., et Pelletier, L. O. (2000, 13-15 novembre 2000). *SIAD-Ville de SAINTE-FOY, Lumières sur nos infrastructures, Plan directeur de réfection intégrant les réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie - Méthodologie et résultats obtenus à la Ville de Sainte-Foy.* Paper presented at the INFRA 2000, Laval, Québec, CANADA.

- Lalonde, É., et Prince, B. (2003). *Innovative Approach to Make a Condition Assessment Using Hydraulic Models*. Paper presented at the Proceedings of the ASCE International Conference on Pipeline Engineering and Construction: New Pipeline Technologies, Security and Safety, Jun 13-16 2003, Baltimore, MD, United States.
- Landry, J. (2000). « *Système intégré d'aide à la décision (S.I.A.D.) pour la gestion globale de tous les réseaux d'infrastructures municipales adapté aux petites et moyennes municipalités : c'est enfin une réalité!* ». Paper presented at the INFRA2000, Montreal, Quebec, CANADA.
- Le Gauffre, P. (1997). Diagnostiquer les infrastructures urbaines de l'eau et de l'assainissement. *Le cahiers du génie urbain*(Janvier 1997), 39-41.
- Lemieux, P. (1996, Décembre 1996). *Les signes avant-coureurs des déficiences sur les réseaux d'aqueduc*. Paper presented at the INFRA'96, Les infrastructures urbaines: Pilier muets de la ville, Montréal.
- Luxhoj, J. T., et Tao, P. C. (1994). Knowledge-based systems for maintenance. *Journal / American Water Works Association*, 86(7), 54-61.
- Lytton, R. L. (1985). *From Ranking to True Optimization, Moderators Report*. Paper presented at the First North American pavement Management conference, Toronto, CANADA.
- Mace, G. (1988). *Guide d'élaboration d'un projet de recherche*. Québec.
- Mailhot, A., Pelletier, G., Noel, J.-F., et Villeneuve, J.-P. (2000a). Modeling the evolution of the structural state of water pipe networks with brief recorded pipe break histories: Methodology and application. *Water Resources Research*, 36(10), 3053-3062.
- Mailhot, A., Pelletier, G., Noel, J.-F., et Villeneuve, J.-P. (2000b). *Modélisation de l'évolution de l'état structural des réseaux d'aqueduc de quatre municipalités du Québec*. Paper presented at the INFRA2000, Montreal, Quebec, CANADA.
- Mailhot, A., Poulin, A., et Villeneuve, J.-P. (2003). Optimal replacement of water pipes. *WATER RESOURCES RESEARCH*, 39(5), 2-14.
- Mathieu, P., Cinq-Mars, C., et Marcoux, C. (2000). *Développement d'un cadre de référence pour l'implantation de la gestion intégrée des infrastructures urbaines au Québec*. Paper presented at the INFRA2000, Montreal, Quebec, CANADA.

McGregor, J. (1995, Jun 25-28 1995). *Value of internal manhole inspections*. Paper presented at the Proceedings of the 2nd International Conference on Advances in Underground Pipeline Engineering, Bellevue, WA, USA.

Misra, A., Rochanirad, A., et Somboonyanon, P. (2003). *Guidelines for a Roadway Management System (RMS) for Local Governments*. Ames, Iowa, USA.

NAAPI. (1997). *Manual of Sewer Condition Classification*.

NAMS, et IPWEA. (2000). *International Infrastructure Management Manual*.

Ontario, M. o. T. a. C. o. (1982). *Manual for Condition Rating of Flexible Pavements-Distress Manifestations* (SP-004). Downsview, Ontario, CANADA.

O'Reilly, M. P. (1989). *Analysis of defects in 180km of pipe sewers in Southern Water Authority*. Berkshire: Transport and Road Research Laboratory.

Pascal, O., et Revol, D. (1993). *Renovation of water supply systems*. Paper presented at the International Water Supply Congress and Exhibition, Budapest, Hungary.

Pelletier, G., Mailhot, A., et Villeneuve, J.-P. (2003). Modeling water pipe breaks - three case studies. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(2), 115-123.

Pelletier, L. O., Olivier, D., Lalonde, É., et Prince, B. (2001). *Intégration d'un SIAD permettant de réaliser un plan directeur intégré d'aqueduc, d'égouts et de voirie*. Sainte-Foy: MAMM.

Poulton, M. (2003). An integrated approach to water distribution network monitoring and performance prediction using geographical information systems. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(1-2), 307-312.

Powell, J. (2003). *Applying the Principles of Asset Management to Make Better Water System Rehabilitation/Replacement Decisions*. Paper presented at the INFRA2003, Montreal, Quebec, CANADA.

Prince, B. (1998a). *Contraintes spatiales entre les infrastructures souterraines*: Consultik ltée.

Prince, B. (1998b). *Fonctionnement de la segmentation dans le SIAD*: Consultik ltée.

Prince, B., Curodeau, D., et Legras, J. (1998). *Projet et méthodologie de recherche pour le développement d'un SIAD*: Consultik ltée.

- Reyna, S. M., Delleur, J. W., et Vanegas, J. A. (1994). *Multi-Attribute Rehabilitation of Storm or Combined Sewer Systems*. Paper presented at the Urban Drainage Rehabilitation Programs and Techniques.
- Rousseau, Y., et Periche, N. (2003). *Plan d'intervention intégré des réseaux Plan d'intervention intégré des réseaux d'aqueduc et d'égouts de l'arrondissement de LaSalle*. Paper presented at the INFRA2003, Montreal, Quebec, CANADA.
- Sadek, A. W., Kvasnak, A., et Segale, J. (2003). Integrated Infrastructure Management Systems: Small Urban Area's Experience. *Journal of Infrastructure Systems*, 9(3), 98-106.
- Sayers, M. W., Gillespie, T. D., et Paterson, W. D. O. (1986). *Guidelines for Conducting and Calibrationg Road Roughness Measurements*. Washington D. C., U.S.A.: World Bank technical paper number 46.
- Schrock, B. J., et al., e. (1994). *Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation*.
- Senneville, A., et Lachambre, G. (1982). *Guide visuel - Évaluation des chaussées, trottoirs, ruelles*. Montréal, Qc, CANADA: Ville de Montréal, Service des travaux publics.
- Serpente, R. F. (1994). *Understanding the Modes of Failure for Sewers*. Paper presented at the Urban Drainage Rehabilitation Programs and Techniques.
- St-Laurent, D. (1995). *Évaluation structurale de chaussées souples dans un contexte climatique nordique*. Université Laval, Sainte-Foy, Qc, CANADA.
- Ullidtz, P. (1987). *Pavement analysis*. Netherland: Elsevier science publisher.
- Vanier, D. J. (2000). *Asset Management 101: A Primer*. Paper presented at the APWA International Public Works Congress, Las Vegas, NV, USA.
- Wallen, A., Woodward, T., et Powell, R. (2003). *Security and redundancy in trunk main distribution networks*. Paper presented at the 3rd World Water Congress of the International Water Association, Melbourne, Australia.
- Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Beckwith, S., Grayman, W., Koelle, E., et Methods, H. (2003). *Advances Water Distribution Modelling Management*.
- WRc. (1984). *Sewerage Rehabilitation Manual*.

Yan, J. M., et Vairavamoorthy, K. (2003). *Fuzzy Approach for Pipe Condition Assessment*. Paper presented at the Proceedings of the ASCE International Conference on Pipeline Engineering and Construction: New Pipeline Technologies, Security and Safety, Jun 13-16 2003, Baltimore, MD, United States.

Yates, C., et al., e. (2002). *Détérioration et inspection des réseaux de distribution d'eau*. Ottawa, On, CANADA.