

SYNTHÈSE DES RAPPORTS INRS-
URBANISATION ET INRS-EAU SUR LES BESOINS
DES MUNICIPALITÉS QUÉBÉCOISES EN
RÉFECTION ET CONSTRUCTION
D'INFRASTRUCTURES D'EAUX

**SYNTHÈSE DES RAPPORTS INRS-URBANISATION ET INRS-EAU
SUR LES BESOINS DES MUNICIPALITÉS QUÉBÉCOISES EN RÉFECTION ET
CONSTRUCTION D'INFRASTRUCTURES D'EAUX**

Rapport rédigé pour

Le Ministère des Affaires Municipales

par

Jean-Pierre VILLENEUVE et Pierre J. HAMEL, Responsables du projet

Équipe INRS-Urbanisation :

Dany FOUGÈRES, Marcel GAUDREAU, Claire POITRAS, Gilles SÉNÉCAL, Michel
TRÉPANIÉ, Nathalie VACHON et Roger VEILLETTE

Équipe INRS-Eau :

Sophie DUCHESNE, Alain MAILHOT, Emmanuelle MUSSO, Geneviève PELLETIER

Synthèse des rapports INRS-Urbanisation et INRS-Eau

Institut national de la recherche scientifique, INRS-Urbanisation et INRS-Eau
3465, rue Durocher, MONTRÉAL (Québec), H2X 2C6
2800, rue Einstein, Case postale 7500, SAINTE-FOY (Québec), G1V 4C7

Rapport de recherche No R-517b

Février 1998

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	v
--------------------------	---

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
------------------------------------	----------

SYNTHÈSE : INRS-URBANISATION

1 INTRODUCTION	5
1.1 Méthodologie	5
1.2 Portrait général des infrastructures d'eaux au Québec	6
2 LES OUVRAGES EXTERNES	7
2.1 Le comportement des ouvrages externes	7
3 LES OUVRAGES SOUTERRAINS	9
3.1 Les conduites d'eau potable	9
3.2 Les conduites d'eaux usées	13
4 ÉVALUATION DES COÛTS	17
4.1 Évaluation des coûts de construction/réfection des ouvrages externes	17
4.2 Évaluation des coûts de remplacement des ouvrages souterrains	17

SYNTHÈSE : INRS-EAU

PARTIE 1 : AQUEDUC

1 INTRODUCTION	23
2 ANALYSES ET MODÉLISATION	25
2.1 Analyses statistiques	25
2.2 Développement et adaptation du modèle	27
2.3 Calage et application aux municipalités-témoins	28
2.4 Transposition du modèle	31
3 ESTIMATION DES COÛTS ET CONCLUSION	35

PARTIE 2 : ÉGOUT

1 INTRODUCTION	37
2 ANALYSES ET MODÉLISATION	39
2.1 Acquisition et traitement de l'information de base	39
2.2 Développement du modèle	39
2.3 Calage du modèle	40
2.4 Transposition	41
2.5 Scénarios de remplacement	42
3 ESTIMATION DES COÛTS ET CONCLUSION	45

CONCLUSION GÉNÉRALE	47
----------------------------------	-----------

LISTE DES TABLEAUX

Tableau U1 :	Estimation des coûts de remplacement des conduites souterraines dans les municipalités et les organismes intermunicipaux de l'échantillon	19
Tableau U2 :	Estimation des coûts totaux de remplacement des conduites souterraines rapportés à l'échelle du Québec (sans Montréal)	20
Tableau A1 :	Nombre de bris au bout de 20 ans et pourcentage d'augmentation du nombre de bris par rapport à 1996 pour les cinq municipalités-témoins selon trois stratégies de remplacement (scénarios 1, 2 et 3)	30
Tableau A2 :	Pourcentage de linéaire et nombre de kilomètres à remplacer annuellement pendant 20 ans dans les cinq municipalités-témoins (scénario 4)	30
Tableau A3 :	Caractéristiques des classes de municipalités	32
Tableau A4 :	Pourcentage d'augmentation du nombre de bris au bout de 20 ans par rapport à 1996 pour les six classes de municipalités selon trois stratégies de remplacement (scénarios 1, 2 et 3)	32
Tableau A5 :	Pourcentage de linéaire à remplacer annuellement pendant 20 ans pour les six classes de municipalités (scénario 4)	33
Tableau A6 :	Pourcentage d'augmentation du nombre de bris par rapport à 1996 selon trois stratégies de remplacement (scénarios 1, 2 et 3) sur des horizons de 5, 10 et 20 ans	33
Tableau A7 :	Pourcentage moyen d'augmentation du nombre de bris par année au bout de 20 ans et coût annuel de remplacement pour les quatre stratégies de remplacement à l'échelle du Québec (excluant Montréal)	36
Tableau E1 :	Transposition des résultats à l'échelle de la province de Québec	42
Tableau E2 :	Pourcentage de linéaire de réseau en mauvais état à l'échelle du Québec selon les différents scénarios de remplacement considérés	43
Tableau E3 :	Estimation des besoins en capitaux sur 20 ans pour les différents scénarios de remplacement	45
Tableau C1 :	Estimation des coûts totaux à l'échelle du Québec, sans Montréal (étude INRS-Eau)	48
Tableau C2 :	Estimation des coûts totaux à l'échelle du Québec, sans Montréal (étude INRS-Urbanisation)	49

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Que ce soit les routes, les trottoirs, les immeubles publics, les ponts, les infrastructures d'eaux ou autres, les infrastructures urbaines vieillissent et leur état semble se détériorer de plus en plus rapidement. Généralement, les gestionnaires municipaux attribuent cette détérioration rapide au manque de moyens financiers pour établir de bons programmes de maintenance préventive. Concernant plus particulièrement les **infrastructures d'eaux**, leur gestion se limite en effet le plus souvent à répondre aux situations de crise lorsque des citoyens mécontents rapportent l'inondation de leur rue à cause d'un bris d'une conduite d'aqueduc, l'inondation de leur sous-sol à cause d'un refoulement d'égout ou même l'affaissement complet de la chaussée. Les dommages causés aux propriétés, les poursuites judiciaires qui s'en suivent ainsi que les interventions nécessaires entraînent des coûts énormes pour les municipalités déjà aux prises avec des problèmes de financement importants. La situation apparaît alarmante en raison du vieillissement des infrastructures, d'où l'importance d'établir des approches méthodologiques efficaces pour évaluer l'état présent des infrastructures urbaines et prédire leur état futur.

L'étude menée à l'INRS-Urbanisation et à l'INRS-Eau et mandatée par le Ministère des Affaires Municipales a pour objectif d'évaluer les besoins en travaux de réfection et de construction pour les infrastructures d'eaux des municipalités du Québec et d'estimer les besoins correspondants en capitaux à court, moyen et long termes (5, 10 et 20 ans). La première phase du mandat, confiée à l'INRS-Urbanisation, consistait à évaluer l'état des ouvrages externes et des ouvrages souterrains par une approche d'analyses de données déjà existantes et de résultats d'enquête. La deuxième phase du mandat, confiée à l'INRS-Eau, consistait quant à elle à se pencher plus particulièrement sur l'état structural des conduites des réseaux d'aqueduc et d'égouts par une approche de modélisation mathématique.

Ce rapport dont l'objectif est de présenter de façon synthétique les démarches et les résultats de cette étude, est divisé en deux sections. La première section présente la synthèse du rapport d'INRS-Urbanisation déposé en juillet 1997 auprès du Ministère des Affaires Municipales, alors que la seconde présente la synthèse du rapport d'INRS-Eau déposé en

septembre 1997. La conclusion générale met l'accent sur les principaux constats de cette étude, en particulier à ce qui a trait au peu de données disponibles en contexte québécois et présente les besoins en capitaux nécessaires aux travaux de réfection et de construction pour les infrastructures d'eaux des municipalités du Québec (excluant la ville de Montréal).

SYNTHÈSE
INRS-URBANISATION

1 INTRODUCTION

Réalisée à la demande du Ministère des Affaires Municipales du Québec, la présente étude vise à améliorer notre connaissance de l'état des infrastructures d'eaux et à faire avancer l'évaluation des besoins en réfection et construction ainsi que l'estimation des coûts impliqués.

1.1 Méthodologie

Deux grands types d'ouvrage ont fait l'objet d'un examen : d'une part, les ouvrages externes, c'est-à-dire les usines de traitement de l'eau potable et des eaux usées, et, d'autre part, les ouvrages souterrains, c'est-à-dire les conduites d'eau potable et d'eaux usées. Dans chacun des cas, nous avons dressé un bilan le plus précis possible de l'état des infrastructures pour ensuite procéder, sur la base du diagnostic, à l'estimation des coûts de réfection et de construction.

Pour les ouvrages externes, nous avons utilisé les données existantes au Ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF) ainsi qu'au Ministère des Affaires Municipales (MAM) : avis d'ébullition, technologies de traitement, capacité théorique des usines, cote environnementale, débit traité par les usines, etc.

Pour les ouvrages souterrains, nous avons procédé à une enquête auprès d'un échantillon de municipalités. Un premier questionnaire concernait le réseau d'aqueduc, un second le réseau d'égouts. Chaque questionnaire a été envoyé au responsable du réseau concerné.

Les deux questionnaires ont été envoyés dans 338 municipalités, aux trois communautés urbaines ainsi qu'à une vingtaine de régies intermunicipales de services. Sur les 338 municipalités ayant reçu les questionnaires, 222 les ont complétés ; soit un taux de réponse de 66 %. Le fait que 38 des 50 municipalités de plus de 25 000 habitants et, parmi celles-ci, 23 des 26 municipalités de 45 000 habitants et plus aient répondu à nos questions nous donne

un échantillon qui contient des informations sur plus de 66 % du kilométrage de conduites existant dans les municipalités québécoises.

1.2 Portrait général des infrastructures d'eaux au Québec

Le Québec compte un total de 1 168 réseaux publics d'aqueduc répartis dans 971 municipalités (64 % des municipalités québécoises) et desservant 81 % de la population de la province. Une proportion de 92 % de la population desservie par ces réseaux est alimentée par une eau traitée selon divers procédés, ce qui représente les trois quarts de la population totale du Québec. La chloration simple est le principal traitement utilisé (62 % des 546 stations), suivie par le traitement en usine (20 %) et les autres types de traitement (8 %).

On trouve des réseaux d'égouts dans 918 municipalités (66 % des municipalités québécoises, une situation comparable à celle de l'eau potable) et ces derniers desservent 84 % de la population de la province. Le Québec dispose, d'une infrastructure d'épuration des eaux usées relativement jeune puisque la majeure grande partie du parc d'équipements a moins de 15 ans. En effet, ce sont les investissements de 5,7 milliards de dollars réalisés dans le cadre du programme PAEQ depuis 1980 qui ont permis la construction de la presque totalité des stations actuellement en service ou en réalisation (557). Avec PADEM, doté d'une enveloppe de \$ 500 millions, ce sera finalement 98 % de la population desservie par un réseau d'égouts dont les eaux usées seront épurées.

Concernant les conduites d'eau potable et d'égouts, les données disponibles sur les dépenses d'immobilisations relatives aux conduites d'eaux (aqueduc et égouts) permettent de voir qu'entre 1986 et 1995, les municipalités et les organismes intermunicipaux ont investi ensemble 4,5 milliards de dollars (constants) dans les conduites d'eau potable et d'eaux usées.

2 LES OUVRAGES EXTERNES

2.1 Le comportement des ouvrages externes

L'examen des ouvrages externes nous conduit au double constat que l'eau potable est de bonne qualité et que les programmes PAEQ et PADEM ont solutionné le problème de l'épuration des eaux usées. Dans les deux cas, c'est-à-dire les ouvrages externes d'eau potable et les ouvrages d'assainissement, les problèmes qui requièrent une intervention majeure à court terme sont peu nombreux et peu importants. Au-delà de ce double constat, nous avons néanmoins voulu repérer les ouvrages pouvant représenter certains problèmes et demander des efforts de réhabilitation.

Concernant les ouvrages externes d'eau potable, nous avons retenu deux scénarios élaborés par le MEF, qui estiment les coûts de mise aux normes. Le premier scénario, préparé en 1992, estimait que la mise aux normes entraînerait des déboursés de l'ordre de \$ 360 millions pour des travaux d'aménagement de source (37 municipalités) et de puits (149 municipalités), pour la construction de station de purification (86 municipalités), pour des modifications aux stations de traitement (14 municipalités) et une désinfection d'appoint (176 municipalités). Dans le deuxième scénario, préparé en 1997, les estimés sont ramenés à des sommes plus modestes. Le projet de modification réglementaire consiste en la désinfection obligatoire des eaux de surface susceptibles de contenir des coliformes totaux. Pour les 53 réseaux connaissant ce type de problèmes, on évalue à près de \$ 5,3 millions les coûts en chlorateur. Optionnelle, l'atteinte des objectifs concernant la norme de trihalométhane demande des déboursés de l'ordre de \$ 62,5 millions, pour 34 municipalités particulièrement ciblées à cet égard. Par ailleurs, l'abaissement de la norme de plomb entraînerait des dépenses maximales de \$ 7,8 millions. En somme, ce deuxième scénario engage, pour les réseaux municipaux, un minimum \$ 5,3 millions et un maximum de \$ 75,6 millions si on tenait compte des équipements optionnels.

Il s'avère, par ailleurs, que les municipalités sont actuellement dotées des équipements suffisants pour répondre à la demande d'eau potable. Certes, quelques cas ponctuels peuvent demander des travaux d'agrandissement. Mais le problème principal demeure celui des pointes records de la saison estivale.

En ce qui a trait aux ouvrages d'assainissement, nous avons voulu identifier les stations cotées C, D et E et problématiques eut égard au traitement de la DBO₅, des MES et des coliformes fécaux, de même que le pourcentage de débordement inclus dans la note réseau. La liste des ouvrages mal cotés (C, D et E), tirée de la banque de données du MEF, a donc été refondue pour ne retenir que les cas de nature physique (la technologie, la capacité, etc.) et ne concernant que le traitement ou le débordement.

Nous avons identifié 16 stations d'étangs aérés comme problématiques quant à la note station. Celles-ci traitent 45 100 m³/d. Elles ont presque toutes moins de dix ans. Dix (10) autres stations sont problématiques quant à la note station. Elles traitent respectivement 87 361 m³/d pour les stations à boues activées, 52 855 m³/d pour les stations à biofiltres et 297 m³/d pour les stations à biodisques. Elles ont toutes moins de dix ans, ce qui est jeune pour des ouvrages de ce type. Au total, le débit des stations problématiques représente 5 % du volume total journalier traité au Québec.

Ce portrait somme toute positif de l'état des ouvrages externes rejoint l'opinion du personnel technique qui en a la responsabilité dans les municipalités et les organismes intermunicipaux et qui estiment que leurs équipements sont adéquats et rencontrent les besoins.

3 LES OUVRAGES SOUTERRAINS

Si, de façon générale, l'état des ouvrages externes peut être jugé satisfaisant, celui des réseaux d'eau potable et d'eaux usées appelle quant à lui une évaluation plus nuancée. D'une part, même si on prend en considération le Programme de Travaux d'infrastructures Canada-Québec, force est de constater que les réseaux n'ont pas été l'objet de programmes de soutien équivalents aux PAEQ et PADEM. D'autre part, même si on ne peut parler de vieillesse dans leur cas, il n'en reste pas moins que les réseaux de conduites sont plus âgés que les ouvrages externes et que la part de problèmes y est plus grande.

3.1 Les conduites d'eau potable

Dans l'ensemble, les réseaux de distribution d'eau potable des 222 municipalités et régies intermunicipales qui ont répondu au questionnaire sont relativement jeunes puisque 65 % des conduites (10 319 km) ont 35 ans ou moins et que 34 % (5 380 km) du kilométrage étudié a 20 ans ou moins. Quant aux conduites les plus âgées, c'est-à-dire celles installées avant 1945, elles représentent 16 % du kilométrage étudié (2 610 km). Cette situation n'a rien d'étonnant : l'âge des réseaux correspond *grosso modo* aux principales périodes d'urbanisation du Québec.

Les matériaux utilisés pour les conduites d'eau potable ont changé au fil des ans. La fonte grise est le matériau le plus fréquent puisque 47 % (7 470 km) des 15 986 km de conduites étudiés sont de ce type. On observe toutefois que les conduites de fonte grise sont de moins en moins utilisées : 2 390 km installés avant 1945 (92 % du kilométrage de la période) contre seulement 396 km entre 1976 et 1996 (7 % du kilométrage de la période). Cette observation n'a rien de surprenant dans la mesure où, à toute fin pratique, la fonte grise n'est plus utilisée depuis la fin des années soixante-dix.

La fonte ductile est le second matériau en importance avec 4 014 kilomètres pour 25 % du kilométrage étudié. C'est au cours de la période 1961-1975 que ce matériau a vraiment fait sa place : on en a installé 1 813 km (37 % du kilométrage installé) alors que seulement 126

kilomètres avaient été installés lors de la période précédente (4 % du kilométrage installé au cours de la période 1945-1960). Son utilisation a légèrement progressé au cours de la période récente : 2 070 km, 39 % du kilométrage installé entre 1976 et 1996.

Au cours des 20 dernières années, mais surtout depuis 10 ans, le CPV s'est taillé une place de choix dans l'éventail des matériaux utilisés. Très peu utilisé dans la période précédente (77 km ou 2 % du kilométrage installé entre 1961 et 1975), il représente 34 % du kilométrage installé (1 852 km).

Les autres caractéristiques des conduites d'eau potable des municipalités et régies qui ont participé à l'enquête se présentent comme suit : 68 % (10 844 km) du kilométrage étudié est constitué de tuyaux de 8 pouces ou moins de diamètre ; les conduites les plus anciennes sont surtout le fait des villes les plus peuplées (45 000 habitants et plus) alors que les petites municipalités abritent une part de jeunes conduites plus grande qu'attendu. Conséquemment, on observe que les conduites faites des matériaux les plus récents, tel le CPV, sont surtout le fait des municipalités de petite taille alors que les matériaux plus anciens, telle la fonte grise, sont sur-représentés dans les villes de 45 000 habitants et plus.

On constate aussi que dans 79 % des municipalités représentant 92 % du kilométrage étudié, des tronçons font l'objet, sous une forme ou une autre, de programmes de diagnostic. Par programmes de diagnostic, nous entendons qu'une ou l'autre des informations suivantes est répertoriée : mesures localisées (pression, débit, etc.; dans 79 % du kilométrage étudié), inspection visuelle (dans 61 % du kilométrage étudié), plaintes (59 %), conditions structurales et géométriques des conduites (30 %), mesure de la corrosivité des sols (25 %), inventaire des bris et des fuites (75 %), calibration des compteurs d'eau (48 %), vérification des poteaux incendie (91 %), autres (30 %). On remarque en outre l'absence de tels programmes dans les villes de petite taille. Les plans directeurs pour la gestion des réseaux sont plus rares puisque seulement 41 % des municipalités ayant répondu au questionnaire, représentant 65 % du kilométrage étudié, en possèdent un.

C'est à partir de l'information qui nous a été fournie sur la fréquence des bris (intolérable, tolérable, négligeable) que nous évaluons l'état fonctionnel des conduites d'eau potable. Cette analyse nous a permis d'établir que les conduites d'eau potable sont dans un état relativement satisfaisant. En effet, 10 % du kilométrage étudié présente une fréquence de bris jugée intolérable par les responsables des réseaux. Cela dit, il ne faut pas minimiser l'importance de cette proportion puisque au total, 1 207 kilomètres de conduites demandent donc une intervention majeure de remplacement ¹. On remarque également que la fréquence de bris de 51 % du kilométrage étudié est jugée négligeable par les répondants (6 310 km sur un total de 12 475 km), ce qui indique que ces conduites ne causent pas d'inquiétudes aux services techniques des municipalités.

Comme on pouvait s'y attendre, c'est dans le stock de conduites installées entre 1976 et 1996 que la part de conduites sur lesquelles la fréquence de bris est jugée intolérable est la plus faible (2 %, 108 km). Pour les trois autres périodes d'installation, la part de conduites dont la fréquence de bris est jugée intolérable est plus grande qu'attendu : 13 % (187 km) pour les conduites installées avant 1945, 18 % (411 km) pour celles installées entre 1945 et 1960 et 12 % (501 km) pour celles de la période 1961-1975.

De plus, 42 % (501 km) du kilométrage de conduites dont la fréquence de bris est jugée intolérable a été installé au cours de la période 1961-1975. Pourtant, les conduites de cette période ne représentent que 33 % du kilométrage étudié (12 475 km). Même phénomène pour les conduites installées entre 1945 et 1960 : bien qu'elles ne représentent que 18 % du kilométrage étudié, elles comptent pour 34 % du kilométrage dont la fréquence de bris est jugée intolérable par les répondants (501 km).

¹ Les réseaux des villes n'ayant pas qualifié l'état de leurs conduites sont exclus de ce tableau. C'est le cas, notamment, de la Ville de Montréal. Au moment où nous avons effectué notre enquête, une étude en profondeur de l'état des infrastructures souterraines de la Ville de Montréal était en cours. Réalisée conjointement par le CERIU, l'INRS-Eau et le CNRC, cette étude n'était pas encore complétée à l'été 1997 et en absence de données complètes et robustes, les personnes qui ont complété le questionnaire pour le compte de la Ville de Montréal ont préféré ne pas qualifier l'état des conduites. Ceci affecte évidemment nos résultats dans la mesure où la part du kilométrage dont le comportement reste inconnu devient inévitablement importante compte tenu de l'ampleur du réseau montréalais (2 300 kilomètres). De plus, dans la mesure où notre évaluation des coûts s'appuie sur le diagnostic de l'état des conduites, le silence de la Ville de Montréal sur ce point particulier affecte là aussi nos résultats.

Lorsqu'on s'attarde à identifier les matériaux qui sont responsables de la plus grande part des problèmes, on s'aperçoit rapidement que les préjugés négatifs à l'égard de la fonte grise sont justifiés. C'est en effet dans le kilométrage de fonte grise que la part de conduites présentant une fréquence de bris intolérable est la plus élevée (16 % au lieu des 10 % attendu). On observe que la fonte grise constitue près des trois-quarts du kilométrage (73 %, 881 km) présentant une fréquence de bris jugée intolérable.

Nos données nous apprennent donc que les conduites fabriquées de certains matériaux ainsi que celles installées au cours de certaines périodes connaissent un niveau de problèmes plus grand qu'attendu. Ainsi, toutes proportions gardées, la fonte grise est le matériau qui connaît le niveau de problème le plus élevé. En ce qui a trait à l'âge des conduites, nous avons observé que ce ne sont pas les plus anciennes qui éprouvent le plus de problèmes. Ce sont plutôt les conduites installées entre 1945 et 1960 ainsi que celles mises en terre entre 1961 et 1975 qui connaissent plus que leur part de problèmes.

Ces observations sont confirmées par l'examen des interventions récemment effectuées par les municipalités sur leurs réseaux ainsi que par les travaux réalisés à l'INRS-Eau sur l'état structural des conduites d'aqueduc dans 5 municipalités.

Par ailleurs, bien que l'on puisse dire que l'état actuel des réseaux est relativement bon, leur futur est, quant à lui, plus préoccupant. Le rythme auquel les municipalités remplacent présentement leurs conduites ne leur permettra vraisemblablement pas d'éviter, à long terme, une dégradation généralisée de leurs réseaux. En effet, 76 % des municipalités, représentant 93 % du kilométrage étudié, sont alignées sur des temps de renouvellement dépassant 110 ans alors que les experts s'entendent pour dire qu'une conduite passe rarement le cap des 100 ans et que, lorsque c'est le cas, elle connaît alors le plus souvent des problèmes très sérieux.

Bien entendu, il importe ici de souligner que le rythme actuel de remplacement est d'une certaine façon bien adapté à la jeunesse relative des réseaux et à un niveau de problèmes que les responsables jugent acceptable. Toutefois, il faut aussi rappeler que dans les municipalités où l'âge moyen des conduites est le plus élevé, le rythme de remplacement

n'est pas plus rapide pour autant et que la majorité d'entre elles sont alignées sur des délais de renouvellement excédant 200 ans. De plus, ces données montrent que le remplacement des conduites existantes n'est pas la préoccupation principale des services de travaux publics dans les municipalités. Les chiffres donnent plutôt à penser que c'est à l'installation de nouvelles conduites que sont consacrées les sommes investies dans les réseaux d'aqueduc et que, compte tenu des besoins futurs en réfection, les municipalités devront prendre un virage et privilégier les interventions sur les conduites existantes afin de maintenir leurs réseaux dans un état acceptable.

3.2 Les conduites d'eaux usées

Les conduites d'eaux usées (combiné, sanitaire, pluvial) des 165 municipalités ayant répondu au questionnaire constituent un stock relativement jeune puisque 71 % (12 138 km) des conduites ont 35 ans ou moins. C'est au cours de la période la plus récente (1976-1996) que la plus grande part de ces conduites a été installée (39 %, 6 722 km). Les conduites les plus anciennes, c'est-à-dire celles installées avant 1945, représentent 12 % du kilométrage total (1 978 km).

Les conduites inventoriées sont le plus souvent de petit diamètre (49 % du kilométrage est de 12 pouces ou moins). Les principaux matériaux utilisés sont le béton armé et le béton et ce, en dépit du fait que l'on observe un arrêt presque complet de l'utilisation de ce dernier matériau au cours de la période 1976-1996 ainsi qu'une percée rapide et importante du CPV au cours de cette même période.

Des résultats obtenus lors de l'enquête permettent de faire un premier bilan de la performance et de l'état des conduites d'eaux usées. Les points suivants nous semblent les plus importants :

- sur 20 % (3 465 km) du kilométrage étudié, les répondants ne sont pas en mesure de qualifier la fréquence des refoulements ;

- concernant les problèmes d'infiltration, la part d'inconnu est encore plus grande puisque c'est 33 % (5674 km) du kilométrage étudié que les répondants ne sont pas en mesure de qualifier ;
- 47 % (8 018 km) du kilométrage étudié présente une fréquence de refoulements jugée négligeable et 48 % (5 455 km) un niveau d'infiltration évalué de la même manière ;
- 2 % (331 km) du kilométrage dont l'état est connu par les responsables de réseau, présente une fréquence de refoulements jugée intolérable et se trouve ainsi dans une condition qui pose des problèmes sérieux aux gestionnaires de réseaux et demande une intervention majeure de remplacement ou de réhabilitation ;
- 4 % (438 km) du kilométrage dont l'état est connu par les responsables de réseau, présente un niveau d'infiltration jugé intolérable et se trouve ainsi dans une condition de détérioration qui pose des problèmes sérieux aux gestionnaires de réseaux et demande une intervention majeure de remplacement ou de réhabilitation ;
- qu'il s'agisse de refoulement ou d'infiltration, les problèmes jugés intolérables par les gestionnaires de réseau sont concentrés sur les conduites installées avant 1945 et sur celles installées entre 1961 et 1975 ;
- dans le kilométrage de conduites installées avant 1945, on retrouve 288 km présentant une fréquence de refoulements ou un niveau d'infiltration jugé intolérable ;
- c'est néanmoins dans les conduites installées entre 1961 et 1975 que l'on retrouve la plus grande partie du kilométrage présentant une fréquence de refoulements ou un niveau d'infiltration jugé intolérable (349 km) ;
- de tous les matériaux, les conduites de grès, d'argile et de terre cuite sont celles où la part de kilométrage présentant un niveau d'infiltration jugé intolérable est la plus élevée (26 %, 168 km), elles comptent pour 44 % du kilométrage ainsi évalué ;
- autant en matière de refoulements que d'infiltration, les villes de 45 000 habitants et plus se distinguent dans la mesure où leurs réseaux semblent moins affectés par ces problèmes ;
- autant en matière de refoulements que d'infiltration, les villes dont la population se situe entre 25 000 et 44 999 habitants connaissent plus que leur part de problèmes sérieux ;
- on observe le même phénomène dans les petites municipalités (1-14 999 habitants).

Dans l'ensemble, on peut donc dire que les conduites d'eaux usées performant bien et qu'elles semblent en bon état. Le kilométrage posant des problèmes sérieux aux responsables municipaux est relativement restreint.

Les systèmes combinés sont en général plus âgés que les systèmes sanitaires et pluviaux. Les problèmes de refoulement y atteignent rarement une fréquence jugée intolérable par les gestionnaires. Ce sont plutôt les problèmes d'infiltration qui affectent négativement la performance de ces réseaux. Les conduites de grès, argile et terre cuite ainsi que la période d'installation la plus ancienne (avant 1945) sont en très grande partie responsables de ces problèmes.

Les systèmes sanitaires sont des réseaux relativement jeunes et la part de conduites de petits diamètres y est très importante. Les problèmes de refoulement y atteignent rarement une fréquence jugée intolérable par les gestionnaires. Les problèmes d'infiltration ne sont guère plus sérieux. D'une part, la proportion du kilométrage où le niveau d'infiltration est jugé négligeable est élevée ; d'autre part, la proportion du kilométrage où le niveau d'infiltration est jugé intolérable est, elle aussi, fort peu élevée. Les conduites de grès, argile et terre cuite ainsi que la période d'installation 1961-1975 sont en très grande partie responsables des problèmes observés.

Les systèmes d'eaux pluviales sont des réseaux relativement jeunes. Ce sont les plus jeunes de tous les types de réseaux étudiés dans notre enquête. La part de conduites de moyens, grands et très grands diamètres y est très importante et plus élevée que dans les deux autres types de réseaux. Les problèmes de refoulement y atteignent très rarement une fréquence jugée intolérable par les gestionnaires. Les problèmes d'infiltration ne sont guère plus sérieux. Les conduites de grès, argile et terre cuite ainsi que la période d'installation 1961-1975 sont en très grande partie responsables des problèmes observés.

On peut penser que si l'état actuel des réseaux d'eaux usées semble relativement bon, leur futur est quant à lui préoccupant. En effet, le rythme auquel les municipalités ayant les réseaux les plus âgés remplacent présentement leurs conduites ne leur permettra

vraisemblablement pas d'éviter à long terme une dégradation généralisée. Comme dans le cas des conduites d'eau potable, les données nous indiquent que les interventions sur les conduites existantes ne sont pas pratique courante dans les municipalités.

4 ÉVALUATION DES COÛTS

4.1 Évaluation des coûts de construction/réfection des ouvrages externes

L'état général des ouvrages externes est des plus satisfaisant, en raison notamment des sommes importantes qui ont été investies au cours des dernières années. En ce qui concerne les ouvrages externes d'eau potable, pour atteindre pratiquement partout un niveau excellent et répondant à des normes sévères, le maximum nécessaire serait de l'ordre de \$ 360 millions alors que selon un scénario plus modeste, le minimum se situerait autour de \$ 5.3 millions. Pour ce qui est des ouvrages d'assainissement, le montant devant être ajouté à ce qui a déjà été prévu est encore moindre et peut-être même nul ; en effet, les programmes existants (PAEQ et PADEM) ont déjà dans leurs cartons des investissements de l'ordre de \$ 938 millions d'ici à l'an 2001. Mises à part les questions d'ajustement, la fin de ces programmes aura pratiquement réglé tous les problèmes qui nécessiteraient des investissements importants, en autant que l'on prenne des mesures énergiques pour faire face à l'étalement urbain. Il y aurait lieu, notamment, de faire payer par les promoteurs (qui l'incorporent au prix final des maisons) les sommes rendues nécessaires pour de nouveaux investissements en infrastructures.

4.2 Évaluation des coûts de remplacement des ouvrages souterrains

Pour les ouvrages souterrains, nous avons choisi d'établir nos scénarios de coûts en utilisant les conduites d'eau potable comme référence, c'est-à-dire que l'évaluation des coûts de réfection et de mise à niveau ne prend pas en compte les conduites d'eaux usées de manière isolée. Notre stratégie consiste à identifier les conduites d'eau potable devant être remplacées et à prévoir au plan des coûts deux types d'intervention : une première qui comprend les deux types de conduites (aqueduc et égouts) et une seconde qui ne concerne que les conduites d'aqueduc.

Les données du MEF concernant les demandes d'autorisation de travaux nous apprennent que 17 % d'entre elles concernent uniquement les conduites d'aqueduc, 20 % concernent les égouts seulement et 63 % impliquent les deux types de conduites. Une intervention sur les égouts seulement étant peu probable dans le cas d'un remplacement de conduites existantes, nous avons donc basé nos estimés sur la règle suivante : 83 % du kilométrage de conduites d'eau potable devant être remplacées impliquera également le remplacement des conduites d'égouts, 17 % impliquera uniquement le remplacement de la conduite d'aqueduc.

Dans le premier cas, le prix de référence que nous avons utilisé est de \$ 1 065 le mètre linéaire avec travaux d'égout pluvial et \$ 815 sans travaux d'égout pluvial. Pour l'aqueduc seulement, le prix au mètre linéaire est de \$ 645. Ces prix comprennent la reconstruction de la chaussée (fondation et pavage) ainsi que les bordures.

Pour identifier les conduites d'eau potable devant faire l'objet d'une intervention, nous sommes partis de l'hypothèse que ce qui brise fréquemment brisera encore plus souvent et qu'il vaut mieux remplacer ces conduites. La première sous-population de conduites sur laquelle il faut intervenir est sans aucun doute le kilométrage où la fréquence de bris a été jugée intolérable par les répondants. Nos données nous indiquent que 10 % du kilométrage étudié, 1 207 kilomètres, est dans une telle situation.

La seconde sous-population qui appelle une intervention est constituée des conduites qui, même si elles connaissent une fréquence de bris jugée tolérable par les responsables de réseaux, risquent, à moyen terme, de voir la fréquence de leurs problèmes augmenter dans la mesure où elles sont fabriquées du matériau qui cause le plus de problèmes et qu'elles ont été installées au cours d'une période qui est, elle aussi, problématique. L'identification de la fonte grise et des périodes d'installation 1945-1960 et 1961-1975 comme des périodes et un matériau problématiques nous indiquent qu'au sein de cette sous-population, on dénombre 1 123 km de fonte grise installés entre 1945 et 1960 et 1 361 km entre 1961 et 1975 pour un total de 2 484 km.

Nous avons préparé deux scénarios de coûts. Un premier, conforme aux directives du MEF, dans lequel l'intervention sur les conduites d'égouts comprend la mise en place d'un système d'égouts pluviaux. Le deuxième scénario, plus près de la façon de faire des municipalités, ne prévoit pas l'installation de systèmes d'égouts pluviaux.

Les coûts de remplacement obtenus pour chacune des municipalités de l'échantillon ayant fourni l'information nécessaire sont ensuite projetés à l'ensemble du Québec en utilisant comme point d'appui les immobilisations passées des municipalités dans les réseaux souterrains et en les regroupant dans des groupes relativement homogènes grâce à une typologie basée sur la composition de leur assiette fiscale. Tous ces estimés excluent la Ville de Montréal.

Mentionnons, en terminant, que nous avons étalé les interventions à réaliser sur une période de 15 ans. Les 5 premières servent à remplacer les conduites où la fréquence de bris est jugée intolérable. Les 10 suivantes permettent de procéder aux interventions que nécessitent les conduites où la fréquence de bris est jugée tolérable. Cet échéancier de 15 ans nous semble être le plus court que les municipalités peuvent supporter compte tenu de leurs dépenses passées.

Tableau U1 - Estimation des coûts de remplacement des conduites souterraines dans les municipalités et les organismes intermunicipaux de l'échantillon

Conduites faisant l'objet d'une intervention	Durée du programme d'intervention	Coût pour l'ensemble de la période		Coût annuel pour la période	
		Avec pluvial	Sans pluvial	Avec pluvial	Sans pluvial
Conduites où la fréquence de bris est jugée intolérable	5 ans	1,199 M \$	949 M \$	240 M \$	190 M \$
Conduites de fonte grise des périodes 1945-1960 et 1961-1975 où la fréquence de bris est jugée tolérable	10 ans	2,468 M \$	1,953 M \$	247 M \$	195 M \$
TOTAL	15 ans	3,667 M \$	2,902 M \$		

Tableau U2 - Estimation des coûts totaux de remplacement des conduites souterraines rapportés à l'échelle du Québec (sans Montréal)

Conduites faisant l'objet d'une intervention	Durée du programme d'intervention	Coût pour l'ensemble de la période		Coût annuel pour la période	
		Avec pluvial	Sans pluvial	Avec pluvial	Sans pluvial
Conduites où la fréquence de bris est jugée intolérable et conduites de fonte grise des périodes 1945-1960 et 1961-1975 où la fréquence de bris est jugée tolérable	15 ans	8,796 M \$	6,959 M \$	586 M \$	464 M \$

Pour se faire une idée plus juste de ce que représentent ces investissements, rappelons qu'il s'est investi 4,5 milliards de dollars sur les conduites entre 1986 et 1995, soit en moyenne 450 millions par année. Au même rythme sur quinze ans, il se serait investi 6,8 milliards de dollars. De ce point de vue, le scénario comprenant l'installation d'un système d'égouts pluviaux représentent une augmentation de 32 % par rapport aux dépenses des quinze dernières années. Moins coûteux, le scénario qui ne retient pas l'installation d'égouts pluviaux représente une augmentation de 4 % des dépenses. Vus dans cette perspective, nos estimations de coûts, qui on le rappelle constituent la borne supérieure des travaux à réaliser, n'apparaissent pas hors proportions ou hors de portée.

Nos estimés indiquent plutôt qu'en ce qui a trait aux conduites souterraines, il faudra dépenser un peu plus que par le passé. Mais surtout, elles nous suggèrent qu'il faudra dépenser différemment. Alors qu'au cours des quinze dernières années, les sommes investies ont surtout servi à installer de nouvelles conduites dans de nouveaux développements résidentiels ou industriels, les municipalités et les organismes intermunicipaux devront maintenant s'attaquer à la réfection et au remplacement des conduites existantes. Au plan fiscal, le défi est de taille puisque contrairement à l'installation de nouvelles conduites, le dépenses sur les conduites existantes ne génèrent pas de nouveaux revenus de taxation pour les municipalités. Dans ce contexte, consacrer aux conduites souterraines un peu plus d'argent qu'à l'habitude représente un effort considérable et difficile.

**SYNTHÈSE
INRS-EAU**

PARTIE 1 : AQUEDUC

1 INTRODUCTION

La connaissance de l'état structural présent des conduites d'aqueduc et d'égouts et la connaissance de l'évolution de cet état dans le futur sont essentielles pour estimer les besoins en réfection et construction d'infrastructures d'eaux dans les municipalités québécoises. Puisqu'il est difficilement envisageable d'inspecter visuellement et/ou télévisuellement les conduites de toutes les municipalités du Québec et que cette information n'est pas disponible, il faut s'interroger sur le meilleur indicateur actuellement disponible capable de nous informer sur l'état structural d'un réseau. Pour les réseaux d'aqueduc, il est clair que le nombre de bris durant une période donnée et sur une longueur donnée est fortement corrélé avec le niveau de détérioration des conduites. En effet, les "bris répertoriés" sont des fuites apparentes en surface indiquant qu'il y a une fissure ou un trou sur la conduite. En faisant l'hypothèse que le design des réseaux a été fait suivant les règles de l'art, il est possible de croire que la plupart de ces fissures sont apparues suite à la dégradation du matériau attaqué par la corrosion interne et/ou externe.

La problématique spécifique aux municipalités québécoises vient du fait que l'information sur les bris de conduites n'est pas archivée de façon systématique et que les données sur les attributs du réseau, tronçon par tronçon (*e.g.* longueur, diamètre, année d'installation, type de matériau), sont souvent incomplètes. De plus, lorsque les bris sont archivés proprement, il est rare que l'historique de bris remonte à plus d'une dizaine d'années. Les années d'archivage des bris nous donne une fenêtre d'observation sur le comportement des conduites. Cette fenêtre d'observation est toujours beaucoup plus courte que l'historique complet d'un réseau, qui remonte à l'année de la première pose. Une autre difficulté se présente lorsque les bris sont archivés par les Travaux Publics alors que le réseau est géré par le Service du Génie ou de l'Environnement. En effet, dans ces cas et ils sont nombreux, les bris sont localisés (par les Travaux Publics) en indiquant le numéro civique et le nom de la rue au-dessus de la conduite ou encore les deux noms de rue à une intersection. La localisation des bris **sur une conduite unique** est alors compliquée par le fait que les numéros civiques n'apparaissent pas comme attributs du réseau recensés par le Service du

Génie/Environnement ou par le fait que l'information est trop imprécise pour identifier une seule conduite, comme, par exemple, à une intersection.

Une revue de la littérature sur le sujet nous a permis d'identifier le type de données requises afin d'effectuer des analyses sur les facteurs influençant le rythme de détérioration d'un réseau et ainsi développer une modélisation prédictive de l'état structural du réseau. L'analyse de la littérature et des données disponibles en contexte québécois nous a mené à retenir quatre principaux facteurs de risque pour l'analyse. Ces facteurs sont : (1) l'année d'installation ; (2) le type de matériau ; (3) le diamètre ; et (4) la longueur. Les efforts pour inclure des facteurs reliés à l'environnement de la conduite, tels le type de sol et l'occupation du sol, n'ont pas donné de résultats probants. Pour la modélisation, ces données doivent être connues tronçon par tronçon. Un tronçon est habituellement défini comme une série de conduites aux caractéristiques homogènes en dessous d'une rue, d'un coin de rue à un autre. Les approches de modélisation du nombre de bris de conduites d'aqueduc relevées dans la littérature sont : (1) les modèles agrégés, où l'âge des conduites est le seul facteur pris en compte ; (2) les modèles de régression où les facteurs de risque interviennent dans la prédiction du nombre de bris ; et (3) les modèles probabilistes, où l'analyse est basée sur le calcul des probabilités de bris sur chacune des conduites. L'approche retenue tient à la fois des modèles de type agrégé et probabiliste.

Cinq municipalités québécoises, que nous désignerons dans ce qui suit par les lettres A, B, C, D et E, ont participé à l'étude en fournissant données et expertise. Une base de données sur Microsoft ACCESS[®] a été montée pour chacune des municipalités-témoins. La base est composée de deux tables de données, l'une contenant les attributs de chacun des tronçons du réseau d'aqueduc et l'autre, l'historique de bris. La table des bris peut être reliée à la table d'aqueduc grâce au numéro unique de tronçon associé à chacun des bris. Il est à noter que le tronçon est la plus petite unité de localisation d'un bris. Toutefois, il n'est pas toujours possible d'associer un numéro unique de tronçon à chacun des bris archivés par une municipalité. Parfois l'information est trop imprécise et le bris doit être mis de côté. Tous les efforts ont été faits pour récupérer le plus grand nombre de bris possible.

2 ANALYSES ET MODÉLISATION

2.1 Analyses statistiques

Les analyses statistiques sur les données des cinq municipalités-témoins nous montrent que la majorité des tronçons (plus de 70 % des tronçons par municipalité-témoin) sont de diamètres 0,1 à 0,2 m. Les faits saillants du Chapitre 8 du rapport INRS-Urbanisation (p. 135) rapportent qu'à l'échelle de leur enquête, 68 % du kilométrage est de diamètre inférieur à 8 pouces (0,2 m), ce qui montre que notre échantillon de cinq municipalités est assez représentatif, en terme de diamètre, de l'échantillon de 177 municipalités ayant répondu au questionnaire d'INRS-Urbanisation. Notre étude montre aussi que les plus forts taux de bris se retrouvent sur les petits diamètres (0 à 0,1 m et 0,1 à 0,2 m). Cette observation est corroborée par plusieurs études qui supposent que les plus petits diamètres brisent plus souvent à cause de la plus petite épaisseur de leurs parois.

La majorité des tronçons sont de longueur inférieure à 200 m (plus de 70 % des tronçons par municipalité-témoin), à l'exception de la municipalité C qui ne compte que 40 % de ses tronçons dans cette catégorie. Cette municipalité possède 26,6 % de ses tronçons dans la catégorie 200 à 300 m, 17,3 % dans celle de 300 à 400 m et 8,8 % dans celle de 400 à 500 m. En général, les taux de bris augmentent avec la longueur des tronçons.

Seules les municipalités A (7,7 %) et B (20 %) ont installé des tronçons avant 1945. Ces pourcentages sont du même ordre de grandeur que ceux rapportés par INRS-Urbanisation (p. 135), *i.e.* 16 % du kilométrage de leur échantillon de 177 municipalités a été posé avant 1945. Le nombre de tronçons installés dans la municipalité D avant 1955 n'est pas connu. La municipalité A a vu le nombre de tronçons installés décroître (35,5 %, 32,5 % puis 24,3 %) durant les trois périodes d'urbanisation qui ont suivi (1945 à 1960, 1961 à 1975, et 1976 à 1996). La municipalité B a connu un pourcentage de pose constant durant ces périodes (environ 26,5 % de tronçons posés par période) alors que les municipalités D et E ont vu leur nombre de tronçons installés augmenter durant chacune des trois périodes. La

municipalité C a connu son plus fort pourcentage de pose entre 1961 et 1976 avec 43,8 % des tronçons posés durant cette période.

INRS-Urbanisation (p. 135) rapporte que 65 % du kilométrage de leur échantillon de 177 municipalités a moins de 35 ans et 34 %, moins de 20 ans. Ces pourcentages varient beaucoup dans notre échantillon de cinq municipalités mais sont du même ordre de grandeur. En effet, les pourcentages de tronçons de moins de 35 ans varient de 53 % à 86 % dans notre étude, alors que ceux de moins de 20 ans varient de 24 % à 59 %.

Les municipalités A et E ont connu leurs plus forts taux de bris sur des tronçons installés durant la période 1961 à 1975, et leurs deuxièmes plus forts taux de bris sur ceux installés durant la période 1945 à 1960. Ces deux périodes sont inversées pour les municipalités B et C. Le fait que ce ne soient pas systématiquement les plus vieux tronçons qui brisent le plus fréquemment lors de la période couverte par l'historique de bris (que nous appellerons par la suite la fenêtre d'observation) est aussi corroboré par différentes études, dont celle d'INRS-Urbanisation (p. 135).

La fonte grise est le matériau le plus utilisé dans les cinq municipalités-témoins (plus de 40 % des tronçons par municipalité-témoin). INRS-Urbanisation (p. 135) rapporte que 47 % du kilométrage de leur échantillon de 177 municipalités est en fonte grise, notre chiffre est donc du même ordre de grandeur. Le second matériau en importance est, en général, la fonte ductile (plus de 32 % par municipalité-témoin, à l'exception de la municipalité B) puis le troisième est le CPV, exception faite de la municipalité C où la fonte ductile est aussi présente que la fonte grise (environ 40 % des tronçons de chaque matériau) et de la municipalité B où il y a très peu de fonte ductile (6,6 %) et beaucoup de CPV (43 %).

INRS-Urbanisation (p. 135) rapporte que la fonte ductile est le matériau le plus fréquemment utilisé au cours de la période 1976-1996, suivi de près par le CPV. Ceci n'a été que partiellement constaté dans notre étude puisque seules deux municipalités sur cinq (municipalités D et E) ont posé plus fréquemment de la fonte ductile durant cette période. Les municipalités B et C ont posé plus de CPV que de fonte ductile alors que la municipalité

A a posé autant de tronçons de fonte ductile que de CPV. Les taux de bris sont, en général, plus élevés pour la fonte grise, suivi de la fonte ductile puis du CPV (d'autres études en sont venues aux mêmes conclusions), exception faite de la municipalité B où le taux de bris le plus élevé est sur la fonte ductile.

2.2 Développement et adaptation du modèle

L'approche de modélisation choisie est de type statistique et repose sur deux des facteurs les plus fortement corrélés au nombre de bris, soit : le nombre d'années écoulées depuis la pose pour un premier bris et depuis le dernier bris pour les bris subséquents et le nombre de bris antérieurs que les conduites ont subis. En effet, il est clair que plus une conduite vieillit plus elle se détériore et plus il est probable qu'elle subisse un bris. De plus, le fait qu'une conduite subisse un premier bris est un fort indicateur de sa détérioration et du fait qu'elle est plus susceptible d'en subir un autre qu'une conduite qui n'a jamais brisé. Le choix d'une approche de modélisation simple est guidé par les fortes contraintes imposées par les très courts historiques de bris à notre disposition. En effet, la prise en compte d'un grand nombre de facteurs de risque augmente le nombre de paramètres du modèle et rend le calage peu significatif à cause du manque de données de calage.

La connaissance de l'historique de pose des tronçons depuis la première pose dans la municipalité est nécessaire pour que le modèle proposé calcule pour chaque année la proportion de tronçons qui a subi un bris. Chaque tronçon peut se trouver dans un des deux états suivants : aucun bris et bris subséquents. La fonction de risque associé au premier bris varie dans le temps tandis que celle des bris subséquents est indépendante du temps. La densité de probabilité des bris subséquents est calculée directement à partir des données (équivalent à caler une fonction exponentielle à un paramètre) tandis que la densité de probabilité d'un premier bris est estimée par le calage d'une fonction définie (fonction de Weibull à deux paramètres). En plus de prendre en compte la pose de tronçon année après année, le modèle permet dans sa forme actuelle de tenir compte du remplacement des conduites. En effet, avec le vieillissement des infrastructures souterraines et le nombre de bris qui ne cesse d'augmenter, le remplacement de conduites devient un des moyens, le plus

généralement utilisé à l'heure actuelle, de contrôler l'état de dégradation moyen du réseau. Le modèle permet ainsi d'estimer le pourcentage de linéaire à remplacer par année sur un nombre d'années donné pour atteindre un nombre de bris annuel moyen donné à la fin de la période donnée.

2.3 Calage et application aux municipalités-témoins

Nous connaissons le comportement des conduites en terme de bris pour la durée de l'historique de bris enregistré. Ainsi, le nombre de bris pour chaque année d'observation est connu ainsi que les attributs des conduites qui ont subi ces bris. Par contre, ce qui est inconnu est l'ordre des bris. En effet, le premier bris enregistré pendant la période d'observation n'est pas nécessairement le premier bris que la conduite ait subi, à moins que la conduite ait été posée pendant la période d'observation. Puisque l'échantillon de conduites posées depuis le début de la période d'observation est faible, il a fallu développer une stratégie de calage qui puisse prendre en compte une plus grande proportion des informations connues. Bien qu'il ne soit pas possible de savoir si le premier bris enregistré est le premier bris réel pour les conduites posées antérieurement à la période d'observation, il est certain que le deuxième bris enregistré est un bris subséquent. Puisque le modèle ne distingue pas entre les deuxième, troisième, quatrième bris, etc. et considère un comportement moyen pour ces bris, il est possible d'avoir un échantillon acceptable de conduites qui ont subi des bris subséquents. Ceci permet d'estimer, dans un premier temps, la valeur du paramètre de la fonction de risque exponentielle. Dans un second temps, les deux paramètres de la fonction de Weibull associée à la probabilité d'occurrence d'un premier bris sont ajustés afin de reproduire fidèlement le nombre total de bris observé annuellement pendant la période d'observation.

Une fois le calage du modèle complété, celui-ci peut être utilisé pour prédire le nombre de bris sur des horizons de 5, 10 et 20 ans, selon différents scénarios de croissance d'une municipalité et différentes stratégies de remplacement de conduites. Il a été décidé, de concert avec le Ministère des Affaires Municipales, qu'un scénario de croissance nulle serait utilisé pour la modélisation, c'est-à-dire qu'aucun nouveau tronçon ne serait installé

durant les horizons de prédiction. Quatre stratégies de remplacement ont été considérées : (1) aucun remplacement ; (2) 0,5 % du linéaire par année pendant x années ; (3) 1,0 % du linéaire par année pendant x années ; et (4) définir le taux de remplacement qui permettra d'obtenir un nombre de bris dans 20 ans comparable à ce qu'il est aujourd'hui. Les tronçons remplacés sont choisis aléatoirement parmi le stock des tronçons comptant plus d'un bris.

Il est important de souligner qu'une différence importante de comportement a été observée au niveau du rythme de détérioration des tronçons posés avant 1960 et celui des tronçons posés après 1960 dans la municipalité A. Afin d'en tenir compte dans la modélisation, nous avons considéré deux fonctions de risque différentes selon l'année de pose des tronçons (avant ou après 1960) pour modéliser le nombre de bris annuel dans cette municipalité. Nous avons donc obtenu, lors du calage, deux jeux de paramètres pour cette municipalité, dont nous nous sommes servis ultérieurement pour la transposition. En effet, la classe de municipalités A1, présentée à la section suivante, est basée sur le jeu de paramètres obtenu pour les tronçons posés avant 1960, et la classe A2, pour les tronçons posés après 1960.

Le Tableau A1 présente les résultats de modélisation pour les trois premiers scénarios sur un horizon de 20 ans. Il est clair que plus le pourcentage de linéaire remplacé est grand plus le nombre de bris au bout de 20 ans sera petit. Il est certain que le gestionnaire de réseau, faisant face à des contraintes budgétaires importantes et à des coûts de réparation beaucoup plus bas que les coûts de remplacement, pourrait être tenté de limiter ses dépenses de remplacement, mais ce tableau démontre clairement que, si tel est le cas, les coûts de réparation ne feront qu'augmenter et l'état moyen du réseau, se dégrader.

Tableau A1 - Nombre de bris au bout de 20 ans et pourcentage d'augmentation du nombre de bris par rapport à 1996 pour les cinq municipalités-témoins selon trois stratégies de remplacement (scénarios 1, 2 et 3)

Municipalité	Pourcentage de linéaire remplacé					
	Scénario 1 : 0,0 %		Scénario 2 : 0,5 %		Scénario 3 : 1,0 %	
	Nombre de bris	% ↑ p/r à 1996	Nombre de bris	% ↑ p/r à 1996	Nombre de bris	% ↑ p/r à 1996
A ^a *	242 (±19)	51 (±12)	221 (±25)	38 (±15)	208 (±21)	30 (±13)
A ^b *	242 (±19)	51 (±12)	203 (±25)	27 (±15)	168 (±21)	5 (±13)
B	171 (±18)	80 (±20)	142 (±15)	49 (±16)	115 (±16)	17 (±16)
C	232 (±26)	72 (±19)	204 (±21)	51 (±16)	181 (±19)	34 (±14)
D	1414 (±168)	136 (±27)	976 (±166)	63 (±27)	554 (±153)	-8 (±32)
E	74 (±13)	85 (±30)	55 (±12)	37,5 (±30)	40 (±11)	0 (±27,5)

*Note : A^a représente le cas de remplacement aléatoire et, A^b, le cas de remplacement de conduites installées après 1960 seulement

Les résultats de modélisation pour le scénario 4 sont présentés au Tableau A2. Le taux de remplacement du scénario 4 se situe entre 0,9 % et 2,0 % pour toutes les municipalités-témoins. On constate que c'est le réseau de la municipalité C qui nécessite le plus grand effort de remplacement sur 20 ans pour maintenir un nombre de bris comparable à ce qu'il est aujourd'hui.

Tableau A2 - Pourcentage de linéaire et nombre de kilomètres à remplacer annuellement pendant 20 ans dans les cinq municipalités-témoins (scénario 4)

Municipalité	Pourcentage de linéaire à remplacer annuellement pendant 20 ans	Nombre de kilomètres à remplacer annuellement pendant 20 ans
A ^a *	1,9 (±0,5)	6,7 (±1,8)
A ^b *	1,1 (±0,5)	3,9 (±1,8)
B	1,4 (±0,5)	4,3 (±1,5)
C	2,0 (±0,5)	8,1 (±2,0)
D	0,9 (±0,5)	12,8 (±7,1)
E	1,0 (±0,5)	1,6 (±0,8)

*Note : A^a représente le cas de remplacement aléatoire et, A^b, le cas de remplacement de conduites installées après 1960 seulement

2.4 Transposition du modèle

Le modèle a nécessité pour son développement des données sur les attributs des réseaux tronçon par tronçon et sur l'historique des bris dans chaque municipalité. De plus, il est nécessaire de pouvoir localiser chacun des bris recensés sur un tronçon unique du réseau d'aqueduc. Hélas, les municipalités possédant ces types de données sont peu nombreuses et il est donc utile de développer une stratégie de transposition du modèle à des municipalités possédant moins de données. Par les réponses aux questions 12, 13 et 14 du questionnaire INRS-Urbanisation, il a été possible de connaître les pourcentages de linéaire posé durant les quatre périodes d'urbanisation (avant 1945, 1945-1960, 1961-1975 et 1976-1996) et le nombre de bris observé en 1996 pour quelque 106 municipalités du Québec (**excluant la ville de Montréal**). Il est clair que ces informations sont insuffisantes pour permettre le calage du modèle. Le modèle a donc été adapté afin d'utiliser ces informations telles quelles, mais en utilisant les jeux de paramètres de calage obtenus dans les municipalités-témoins, pour reproduire l'historique de bris de la municipalité année après année jusqu'en 1996. Ainsi en comparant les résultats de modélisation obtenus grâce aux différents jeux de paramètres de calage avec le nombre de bris annuel en 1996 tel que précisé dans le questionnaire d'INRS-Urbanisation, il est possible de classer les différentes municipalités selon que le rythme de dégradation de leur réseau s'apparente à celui de l'une ou l'autre des municipalités-témoins.

La transposition du modèle aux 106 municipalités a permis d'obtenir pour chacune des classes de municipalités (selon le jeu de paramètres reproduisant le mieux le nombre de bris annuel en 1996) des prédictions du nombre de bris sur des horizons de 5, 10 et 20 ans. Le Tableau A3 fait un inventaire des caractéristiques des différentes classes de municipalités. La population totale des 106 municipalités est d'environ 2 003 396 habitants et le linéaire total est de 10 074 km.

Tableau A3 - Caractéristiques des classes de municipalités

Classe	A 1	A 2	B	C	D	E
Nombre de municipalités	19	8	42	16	5	16
Population	611335*	82041*	467613*	424240	103210*	314957*
Nb de km avant 1945	483	11	229	119	0	57
Nb de km 1945 à 1960	620	33	417	432	62	337
Nb de km 1961 à 1975	468	224	1156	842	242	565
Nb de km 1976 à 1996	584	122	1398	676	243	727
Nb de km total en 1996	2155	390	3200	2069	547	1686
Nombre de bris en 1996	421	314	367	781	229	446
Taux de bris au 100 km	19,5	80,5	11,5	37,7	41,9	26,5

*Note : Cette valeur est incomplète puisque quelques municipalités n'ont pas indiqué le nombre d'habitants dans le questionnaire INRS-Urbanisation

Le Tableau A4 présente les résultats de simulation pour les différentes classes de municipalités pour les trois premiers scénarios présentés plus haut sur un horizon de 20 ans.

Tableau A4 - Pourcentage d'augmentation du nombre de bris au bout de 20 ans par rapport à 1996 pour les six classes de municipalités selon trois stratégies de remplacement (scénarios 1, 2 et 3)

Municipalité	Pourcentage d'augmentation du nombre de bris par rapport à 1996		
	Scénario 1 : 0,0 %	Scénario 2 : 0,5 %	Scénario 3 : 1,0 %
A 1	43	30	12
A 2	50	32	8
B	76	68	5
C	59	42	26
D	136	57	-7
E	80	41	-3

(Échantillon : 106 municipalités)

Les résultats de simulation pour le scénario 4 sont présentés au Tableau A5. Le taux de remplacement du scénario 4 se situe toujours entre 0,9 % et 1,8 % pour toutes les classes de municipalités.

Tableau A5 - Pourcentage de linéaire à remplacer annuellement pendant 20 ans pour les six classes de municipalités (scénario 4)

Classe de municipalités	Pourcentage de linéaire à remplacer annuellement pendant 20 ans
A 1	1,3
A 2	1,2
B	1,0
C	1,8
D	0,9
E	1,0

(Échantillon : 106 municipalités)

Afin d'obtenir un estimé moyen pour l'ensemble des classes de municipalités, nous avons fait la somme des pourcentages de remplacement des différentes classes selon le poids respectif des linéaires de chacune des classes. Les pourcentages moyens d'augmentation du nombre de bris moyen pour l'ensemble des quelque 106 municipalités à l'étude en fonction des trois premiers scénarios de remplacement suggérés sont présentés au Tableau A6. Un calcul similaire pour le quatrième scénario nous donne un pourcentage moyen de linéaire à remplacer annuellement sur 20 ans de 1,1 % à l'échelle des municipalités.

Tableau A6 - Pourcentage d'augmentation du nombre de bris par rapport à 1996 selon trois stratégies de remplacement (scénarios 1, 2 et 3) sur des horizons de 5, 10 et 20 ans

Horizon de prédiction	Pourcentage d'augmentation du nombre de bris par rapport à 1996		
	Scénario 1 : 0,0 %	Scénario 2 : 0,5 %	Scénario 3 : 1,0 %
5 ans	22	11	-2
10 ans	43	22	0
20 ans	68	48	9

(Échantillon : 106 municipalités)

3 ESTIMATION DES COÛTS ET CONCLUSION

Afin d'extrapoler les résultats présentés précédemment à l'ensemble de la province de Québec, il a fallu faire l'hypothèse qu'une population de 5 954 896 habitants (incluant la ville de Montréal) était desservie par des réseaux d'aqueduc à l'échelle de la province (Rapport INRS-Urbanisation, p. 48) et que le linéaire de réseau était proportionnel au nombre d'habitants desservis. Pour connaître le ratio entre le linéaire de réseau et la population desservie, une régression linéaire a été faite avec les données des 106 municipalités ayant servi à la transposition. Puisque la population totale connue dans ces municipalités comprend les habitants desservis et ceux non desservis, nous avons fait l'hypothèse, qu'en moyenne, 85 % de la population totale de ces municipalités est desservie par un réseau d'aqueduc (la ville de Montréal est exclue de cette hypothèse). Une valeur de 4,9 m par habitant desservi est obtenue par la régression. Sur la population totale du Québec de 5 954 896 habitants desservis par un réseau d'aqueduc, il faut soustraire la population totale de la ville de Montréal (100 % des habitants sont desservis : 1 017 837 habitants), ce qui se traduit par une longueur totale de réseau excluant Montréal de 24 192 km à l'échelle de la province. À titre de comparaison, l'échantillon des 106 municipalités représente une longueur totale de 10 074 km, soit 42 % du linéaire total à l'échelle de la province (excluant Montréal).

En faisant une hypothèse sur le coût de remplacement de conduites d'aqueduc basée sur des estimations faites par INRS-Urbanisation, une valeur de \$ 645 par mètre linéaire a été choisie. Bien sûr, le coût de remplacement des conduites d'aqueduc varie énormément à l'échelle de la province, mais puisque le mandat est d'estimer un coût moyen et que cette valeur est solidement documentée, c'est elle qui servira à estimer les coûts globaux. Le Tableau A7 présente **les coûts annuels** de remplacement à l'échelle du Québec (excluant Montréal) pour les quatre scénarios considérés sur un horizon de 20 ans.

Tableau A7 - Pourcentage moyen d'augmentation du nombre de bris par année au bout de 20 ans et coût annuel de remplacement pour les quatre stratégies de remplacement à l'échelle du Québec (excluant Montréal)

Scénario	Pourcentage moyen d'augmentation du nombre de bris par année au bout de 20 ans	Coût annuel de remplacement (en millions)
1 : 0,0 % du linéaire par an	86	0
2 : 0,5 % du linéaire par an	44	78
3 : 1,0 % du linéaire par an	10	156
4 : Maintien du nombre de bris moyen par an au bout de 20 ans	0	172

À la lumière de ce tableau, on voit que c'est une somme de l'ordre de \$ 3,4 milliards qui devrait être investie sur une période de 20 ans pour maintenir l'ensemble du réseau dans son état structural actuel. Nous rappelons que cet estimé suppose une croissance nulle des réseaux. La question est maintenant de savoir si l'état actuel est acceptable ou si des sommes supplémentaires doivent être consenties afin d'améliorer l'état actuel des réseaux dans le cas où il serait jugé inacceptable par les gestionnaires.

PARTIE 2 : ÉGOUT

1 INTRODUCTION

On constate aujourd'hui que certaines conduites des réseaux d'égout ne peuvent plus remplir de façon adéquate le rôle pour lequel elles ont été conçues, soit l'évacuation des eaux usées et pluviales vers l'exutoire du réseau de la municipalité. Les principaux désordres pouvant altérer la performance de ces réseaux sont les défaillances de natures structurale (mauvais état), hydraulique (capacité d'évacuation devenue insuffisante) ou environnementale (rejets de polluants au milieu naturel). Nous nous limitons dans cette étude à la réfection rendue nécessaire par le vieillissement des conduites, soit celle liée à leur détérioration structurale.

La détermination des besoins futurs en réfection exige une certaine connaissance de l'état actuel des conduites et de la façon dont évolue cet état dans le temps. Concernant l'état actuel des conduites, on constate que les gestionnaires de réseaux d'égout québécois possèdent une connaissance limitée de cet état. Dans la majorité des cas, l'entretien préventif des conduites d'égout est presque inexistant et les auscultations comme les interventions de réhabilitation ne se font qu'en situation d'urgence (refoulement, affaissement apparent de la chaussée, etc.) ou lors de la réfection de la chaussée. Ensuite, l'estimation de l'évolution de l'état structural exige l'utilisation d'un modèle. Un modèle de simulation de l'évolution de l'état structural des conduites a donc été développé dans le cadre de cette étude. Son développement et son calage s'appuient sur les données recueillies auprès des deux municipalités-témoins qui possèdent les données nécessaires. Le modèle a ensuite été transposé aux autres municipalités (à l'exclusion de Montréal) du Québec pour déterminer les besoins en réfection à l'échelle de la province.

2 ANALYSES ET MODÉLISATION

2.1 Acquisition et traitement de l'information de base

Afin d'établir le modèle de prévision de l'état structural des conduites d'égout, il est nécessaire de recueillir des informations concernant l'âge des conduites, leur longueur ainsi que leur état structural, observé à l'aide d'auscultations télévisuelles. Seulement deux municipalités ont été retenues comme municipalités-témoins puisqu'elles sont les seules à réaliser une auscultation systématique de leur réseau sur plusieurs centaines de kilomètres et à posséder un relevé informatisé plus ou moins complet des caractéristiques de leurs conduites et de l'état structural de leur réseau d'égout.

L'analyse statistique de l'ensemble des données disponibles nous permet de conclure que les caractéristiques moyennes des réseaux d'égout de ces deux municipalités-témoins sont représentatives des réseaux d'égout de l'ensemble des municipalités québécoises, tout au moins pour les données recensées par le questionnaire de l'INRS-Urbanisation (diamètre, âge, etc.). Toutefois, rien ne nous permet de juger de leur représentativité quant aux facteurs environnementaux qui interviennent dans la dégradation des réseaux d'égout.

2.2 Développement du modèle

Le modèle développé a pour objectif premier de prédire l'évolution du linéaire de réseau d'égout québécois en mauvais état pour des périodes de 5, 10 et 20 ans. Dans un second temps, ce modèle pourra être utilisé pour évaluer différents scénarios de croissance du réseau et/ou différentes stratégies de remplacement de tronçons.

L'hypothèse principale du modèle proposé est qu'il existe une relation entre l'état moyen des tronçons et leur âge. L'indicateur retenu pour qualifier l'état structural est la présence de défauts majeurs observés lors d'auscultations visuelles ou télévisuelles des conduites. Les défauts majeurs sont ceux qui nécessiteraient, dans une gestion rigoureuse d'un réseau d'égout, une réparation ou un remplacement de conduite à court terme. D'après les observations des gestionnaires de réseau d'égout des municipalités-témoins, ces défauts

majeurs sont les trous, les fissures longitudinales, les fissures multiples, les armatures apparentes, le sol apparent, les tuyaux affaissés et les tuyaux brisés. L'état de chaque tronçon est défini de façon binaire : on affecte l'état 1 (mauvais état) à une conduite présentant un défaut majeur, ou l'état 0 (bon état) à une conduite ne présentant aucun défaut structural ou seulement des défauts mineurs.

Le modèle développé considère que l'évolution du pourcentage de linéaire de réseau en mauvais état en fonction du temps suit une loi exponentielle. Le seul paramètre du modèle à caler est λ qui correspond à la probabilité qu'un tronçon passe de la classe "bon état" à la classe "mauvais état" entre les temps T et $T+1$. Cette probabilité est supposée indépendante du temps. Seul le remplacement est considéré comme moyen de réhabilitation du réseau. Nous supposons de plus que la décision de remplacer un taux annuel R % du linéaire total de réseau concerne les conduites en mauvais état. Les données nécessaires au modèle sont le linéaire de réseau installé au cours du temps, la date d'installation des premières conduites et le taux de remplacement annuel pratiqué.

2.3 Calage du modèle

L'objectif du calage est de trouver la valeur du paramètre λ pour les municipalités-témoins A et B. Cet exercice nous a permis de constater que la valeur de λ , telle que nous pouvons l'évaluer, peut être très différente d'une municipalité à l'autre, qu'elle dépend fortement du nombre de données disponibles et qu'elle est également très sensible aux valeurs extrêmes. Par ailleurs, les résultats obtenus pour la ville B nous semblent peu réalistes en partie à cause de l'utilisation de la technique d'auscultation Aqua Zoom qui tend à sous-estimer le linéaire en mauvais état d'un réseau. Ainsi, nous pensons qu'il serait discutable d'extrapoler la valeur de λ calée pour une des municipalités-témoins à toutes les autres municipalités du Québec. Nous nous sommes donc orientés vers la définition d'une fourchette de valeurs pour λ . Concernant la borne supérieure de cet intervalle, nous retenons $\lambda = 0,0140 \text{ an}^{-1}$, ce qui correspond à une probabilité d'être en mauvais état de 75 % pour un tronçon âgé de 100 ans. Pour l'évaluation de la borne inférieure, nous avons exclu les résultats de la ville B, puisque nous pensons que le linéaire en mauvais état du réseau est nettement sous-estimé

principalement à cause de sa technique d'auscultation. Des données complémentaires concernant le réseau de la ville C ont pu être recueillies et nous permettent d'évaluer une borne inférieure de l'intervalle de variation, $\lambda = 0,0037 \text{ an}^{-1}$. La plage de valeurs obtenues ($0,0037 \text{ an}^{-1} \leq \lambda \leq 0,0140 \text{ an}^{-1}$) sera utilisée lors de la transposition du modèle aux autres municipalités du Québec.

2.4 Transposition

La transposition consiste tout d'abord à appliquer le modèle aux 133 municipalités pour lesquelles nous disposons des variables d'entrée du modèle en utilisant les paramètres obtenus à partir des données des municipalités-témoins. Par la suite, les résultats obtenus sont extrapolés à l'ensemble des municipalités de la province, à l'exclusion de la ville de Montréal.

Avec un λ moyen de $0,0090 \text{ an}^{-1}$, on obtient pour les 133 municipalités retenues un linéaire de réseau en mauvais état de l'ordre de $30 \% \pm 15 \%$, tous types de réseaux confondus (combiné, sanitaire et pluvial). Afin de transposer ce résultat à l'ensemble de la province, nous faisons l'hypothèse que l'échantillon des 133 villes est représentatif (tant en termes de caractéristiques que d'état structural) de l'ensemble des municipalités québécoises et donc que la proportion en mauvais état du linéaire total de ces villes est la même que celle de la totalité du linéaire du Québec (toujours en excluant Montréal).

En considérant que 85 % de la population québécoise est raccordée à un réseau d'égout, nous avons pu évaluer, à partir de l'échantillon, un linéaire moyen de 7,3 m de réseau d'égout par habitant raccordé. Puisqu'en excluant la ville de Montréal la population raccordée à l'échelle du Québec s'élève à 5 millions (toujours en considérant un taux de raccordement de 85 %), on peut estimer que le linéaire total de réseau d'égout, tous types de réseaux confondus, est de 36 500 km. Les résultats de la transposition sont présentés au Tableau E1.

Tableau E1 - Transposition des résultats à l'échelle de la province de Québec

	Pour les 133 villes étudiées	Pour la province de Québec (excluant Montréal)
Population totale concernée	2 310 421 habitants dont 85 % sont raccordés	5 000 000 habitants raccordés
Linéaire total de réseau d'égout	14 442 km (7,3 m / habitant raccordé)	36 500 km
Pourcentage moyen de linéaire de réseau d'égout en mauvais état en 1997	30 % \pm 15 % (4 450 km \pm 2 500 km)	30 % \pm 15 % (11 000 km \pm 5 500 km)

À l'heure actuelle, le linéaire de réseau en mauvais état serait donc de l'ordre de 30 % \pm 15 %, soit 11 000 km \pm 5 500 km. Dans la section suivante, nous allons estimer l'évolution future de ce linéaire total en mauvais état en fonction de différents scénarios de remplacement.

2.5 Scénarios de remplacement

Pour simuler l'évolution dans les 20 prochaines années de l'état structural des réseaux d'égout du Québec, nous avons considéré plusieurs scénarios de remplacement annuel afin d'évaluer l'impact de chacun sur l'état structural global du réseau. Nous avons fait l'hypothèse qu'aucune nouvelle conduite d'égout ne sera posée dans les 20 prochaines années. De plus, nous supposons que les tronçons remplacés sont toujours choisis dans le stock des tronçons en mauvais état. Nous avons simulé l'évolution jusqu'en 2020 du pourcentage en mauvais état du linéaire total de réseau d'égout en fonction des scénarios de remplacement suivants :

- (S1) aucun remplacement effectué, soit $R = 0 \%$;
- (S2) maintien de l'état actuel, soit $R = 0,6 \%$ ($\pm 0,20 \%$ selon le scénario de vieillissement) ;
- (S3) diminution de moitié en 20 ans du linéaire de réseau en mauvais état, soit $R = 1 \%$ ($\pm 0,5 \%$ selon le scénario de vieillissement) ;
- (S4) diminution d'un facteur six en 20 ans du linéaire de réseau en mauvais état, soit $R = 1,5 \%$ ($\pm 0,5 \%$ selon le scénario de vieillissement).

Le modèle a été appliqué aux 133 villes pour lesquelles nous disposons des variables d'entrée du modèle, puis les résultats ont été étendus à l'ensemble du Québec par la stratégie de transposition décrite à la section précédente. Nous présentons au Tableau E2 le pourcentage de linéaire de réseau en mauvais état en 2020 suivant le scénario de vieillissement moyen ($\lambda = 0,0090 \text{ an}^{-1}$).

Tableau E2 - Pourcentage de linéaire de réseau en mauvais état à l'échelle du Québec selon les différents scénarios de remplacement considérés

Scénario de remplacement	Pourcentage de linéaire de réseau en mauvais état en 2020
S1	49 %
S2	30 %
S3	14 %
S4	5 %

Le choix d'un scénario de remplacement dépendra du pourcentage de linéaire de réseau en mauvais état considéré comme acceptable. La définition d'un tel seuil est difficile car la réhabilitation d'une portion de réseau ne se fait généralement pas qu'en fonction de son état structural.

3 ESTIMATION DES COÛTS ET CONCLUSION

Nous estimons qu'à l'heure actuelle la proportion du linéaire de réseau d'égout en mauvais état au Québec est de l'ordre de 30 % \pm 15 %, ce qui représente 11 000 km \pm 5 500 km. D'après un scénario de vieillissement moyen qui estime à 75 % la probabilité qu'un tronçon soit en mauvais état lorsqu'il atteint l'âge de 150 ans, le taux de remplacement annuel nécessaire pour maintenir constant cet état global est d'environ 0,6 %, alors que le taux pour réduire de moitié en 20 ans le linéaire de réseau en mauvais état est de 1 % et que le taux pour diminuer d'un facteur six en 20 ans le linéaire de réseau en mauvais état est de 1,5 %. Ceci revient à remplacer à l'échelle québécoise un linéaire total d'environ 220 km par an pour maintenir l'état du réseau (30 % en moyenne en mauvais état), 365 km par an pour améliorer de moitié l'état du réseau dans les 20 prochaines années (15 % en moyenne en mauvais état en 2020) et 550 km par an pour améliorer encore plus l'état du réseau dans les 20 prochaines années (près de 5 % en moyenne en mauvais état en 2020).

Les capitaux nécessaires à la réalisation de ces différents scénarios, considérant un coût de remplacement moyen de \$ 800 par mètre de conduite d'égout, sont présentés au Tableau E3.

Tableau E3 - Estimation des besoins en capitaux sur 20 ans pour les différents scénarios de remplacement

	R = 0,6 % (maintien de l'état structural actuel)	R = 1 %	R = 1,5 %
Linéaire de réseau en mauvais état à remplacer chaque année	220 km	365 km	550 km
Coût annuel du remplacement (en millions \$)	175	300	440
Besoins en capitaux dans les 20 prochaines années (en millions \$)	3 500	6 000	8 800

Ainsi, les montants annuels s'élèvent à \$ 175 millions pour maintenir l'état moyen du réseau d'égout dans son état actuel (30 % du linéaire en mauvais état), à \$ 300 millions pour diminuer de moitié le linéaire de réseau en mauvais état dans les 20 prochaines années (abaisser à 15 % le pourcentage du linéaire en mauvais état) et à \$ 440 millions pour diminuer d'un facteur six le linéaire de réseau en mauvais état dans les 20 prochaines années (abaisser à 5 % le pourcentage du linéaire en mauvais état). Si on choisit de maintenir l'état moyen du réseau dans son état actuel (en moyenne 30 % du linéaire en mauvais état), les besoins totaux en capitaux s'élèvent alors à \$ 3,5 milliards sur 20 ans.

CONCLUSION GÉNÉRALE

La présente conclusion a pour objectif principal de dégager et de comparer les principaux éléments des études de l'INRS-Urbanisation et de l'INRS-Eau relativement à l'évaluation des besoins des municipalités québécoises en réfection et construction d'infrastructures d'eaux. Comme nous le verrons, ces deux études, qui procèdent selon deux approches fort distinctes, arrivent à des constats similaires. Nous ne discuterons que des infrastructures souterraines d'aqueduc et d'égout.

Tout d'abord, il importe de souligner que ces deux études ont permis de mettre en lumière que, trop souvent, les gestionnaires de réseau possèdent une connaissance très fragmentaire de leur réseau. Cette connaissance floue a rendu difficile le travail d'analyse et de modélisation. À ce titre, il serait intéressant et souhaitable de suggérer aux différentes municipalités une méthodologie ou un protocole de cueillette et de structuration des données relatives à leur réseau. En effet, bien que les gestionnaires soient conscients de l'importance de posséder une information de qualité et facilement accessible concernant leurs réseaux, ils disposent rarement du temps nécessaire pour définir la structure des bases de données et y emmagasiner l'information. L'élaboration d'une structure et d'un protocole de saisie des données serait, à ce titre, un premier pas dans la bonne direction. Malgré le fait que les gestionnaires de réseau ne semblent pas toujours avoir accès à des données précises et détaillées sur l'état structural des conduites de leurs réseaux, la présente étude montre qu'ils ont tout de même une perception globale très juste de cet état.

Les études de l'INRS-Urbanisation et de l'INRS-Eau se distinguent au premier chef par l'échantillon initial servant à effectuer l'analyse. En effet, l'étude de l'INRS-Urbanisation a procédé à partir d'une information recueillie par questionnaire sur un échantillon de 222 municipalités alors que celle de l'INRS-Eau a plutôt utilisé un échantillon beaucoup plus restreint de 5 municipalités pour l'aqueduc et de 3 municipalités pour l'égout. Ces 8 dernières municipalités sont identifiées comme "municipalités-témoins" par l'INRS-Eau. Pour ces dernières, l'information recueillie était plus détaillée et précise. L'analyse des ensembles de données recueillies par l'INRS-Urbanisation et par l'INRS-Eau nous montre,

et c'est là un point fort important, que les constats faits quant aux caractéristiques des réseaux sur un échantillon restreint, mais aux données détaillées, sont semblables aux constats faits à partir d'un échantillon beaucoup plus large, mais aux données plus subjectives, et ce, tant pour l'aqueduc que pour l'égout. Ceci nous indique que les municipalités-témoins utilisées pour le développement des modèles sont représentatives de l'ensemble des municipalités québécoises. De plus, sur la base des statistiques sur les bris des réseaux d'aqueduc des municipalités-témoins, les mêmes constats sont généralement observés (fréquence de bris plus élevée pour les petits diamètres, sur les conduites en fonte grise, etc.).

Il est à noter que les coûts globaux estimés par l'INRS-Eau sont basés sur les mêmes coûts unitaires que ceux utilisés par l'INRS-Urbanisation et que les linéaires de réseaux d'aqueduc et d'égout à remplacer, selon l'INRS-Eau, sont ceux nécessaires pour maintenir au bout de 20 ans un état structural semblable à ce qu'il est aujourd'hui à l'échelle du Québec (excluant la ville de Montréal). Afin de calculer un coût total de remplacement de ces conduites, nous supposons que l'ensemble du kilométrage commun aux deux réseaux, soit 4400 km, est remplacé simultanément (aqueduc et égout) au coût unitaire de \$ 1065/m, alors que le kilométrage d'aqueduc restant, soit 922 km, est remplacé au coût unitaire de \$ 645/m. Le coût total dans le cadre de ce scénario de remplacement est de \$ 5,3 milliards (voir Tableau C1). Ce dernier coût doit être comparé au coût avec pluvial tel qu'estimé par l'INRS-Urbanisation puisque le coût unitaire utilisé inclut l'égout pluvial (voir Tableau C2).

Tableau C1 - Estimation des coûts totaux à l'échelle du Québec, sans Montréal (étude INRS-Eau)

	Linéaire à remplacer sur 20 ans	Coût unitaire	Coût de remplacement (en milliards \$)
Combiné égout-aqueduc	4400 km	\$ 1065/m	4,7
Surplus aqueduc	922 km	\$ 645/m	0,6
		TOTAL	5,3

Tableau C2 - Estimation des coûts totaux à l'échelle du Québec, sans Montréal (étude INRS-Urbanisation)

Conduites faisant l'objet d'une intervention	Durée du programme d'intervention	Coût pour l'ensemble de la période		Coût annuel pour la période	
		Avec pluvial	Sans pluvial	Avec pluvial	Sans pluvial
Conduites où la fréquence de bris est jugée intolérable Conduites de fonte grise des périodes 1945-1960 et 1961-1975 où la fréquence de bris est jugée tolérable	15 ans	8,796 M \$	6,959 M \$	586 M \$	464 M \$

L'évaluation des coûts suivant l'approche de l'INRS-Urbanisation se fait sur la base de différents scénarios de remplacement concernant l'aqueduc. Le linéaire d'égout remplacé est estimé en formulant l'hypothèse qu'il correspond à 83 % du linéaire d'aqueduc à remplacer. Or l'étude INRS-Eau montre que, selon le scénario de maintien de l'état structural des réseaux, le linéaire d'égout à remplacer correspond à 82,7 % du linéaire d'aqueduc (= 4400 km / 5322 km) ! L'hypothèse utilisée par l'INRS-Urbanisation correspond donc tout à fait à l'estimé obtenu par l'étude INRS-Eau.

Le scénario de remplacement proposé par l'INRS-Urbanisation consiste à changer, dans un premier temps, les conduites où la fréquence de bris est jugée intolérable (10 % du kilométrage étudié) et, dans un deuxième temps, les conduites de fonte grise de la période 1945-1975 (20 % du kilométrage étudié). Donc, à terme, c'est 30 % du kilométrage du réseau qui sera remplacé sur 15 ans. En quoi ceci se compare-t-il aux scénarios utilisés par l'INRS-Eau ? Le paramètre important que cette dernière étude a permis d'estimer est le niveau de remplacement nécessaire au maintien de l'état structural des réseaux sur une période de 20 ans. C'est dire qu'un taux de remplacement supérieur à cette valeur conduira à une amélioration de l'état structural alors qu'un taux inférieur entraînera une détérioration des réseaux. Ce taux de remplacement critique a été estimé à 1,1 % par an sur 20 ans, soit le remplacement de 22 % du linéaire sur 20 ans. Or le niveau de remplacement du scénario de l'INRS-Urbanisation se situe à 30 %, ce qui correspond à un niveau de 1,5 % par an pour 20 ans et est donc supérieur à ce seuil critique. Ainsi, le scénario envisagé par l'INRS-

Urbanisation permettra, suivant en cela l'analyse menée à partir de la modélisation du nombre de bris, une amélioration globale de l'état structural des réseaux. À partir de l'analyse de l'INRS-Eau, nous estimons que, pour le scénario INRS-Urbanisation, le nombre de bris de l'aqueduc diminuerait d'environ 25 % sur 20 ans par rapport à ce qu'il est actuellement et que le linéaire de réseau d'égout en mauvais état diminuerait jusqu'à 5 % du linéaire total. Les coûts évalués par les deux études respectent cette même logique puisque l'estimé de l'INRS-Urbanisation (\$ 8,8 milliards sur 15 ans ou \$ 587 millions par an) est supérieur à l'estimé de l'étude INRS-Eau (\$ 5,3 milliards sur 20 ans ou \$ 265 millions par an). Pour fin de comparaison, mentionnons que des montants de l'ordre de \$ 450 millions par an ont été investis dans les conduites d'aqueduc et d'égout durant la période de 1986 à 1995.

Il est important de voir que ces deux estimations sont parfaitement cohérentes puisque le scénario envisagé par l'INRS-Eau correspond à un scénario de maintien de l'état structural à son état actuel alors que le scénario de l'INRS-Urbanisation correspond à un scénario pour lequel il y aura amélioration globale de l'état structural des réseaux.

Finalement, il est important de noter que, quoique les méthodes utilisées pour projeter les coûts à l'ensemble du Québec depuis l'échantillon des municipalités étudiées soient très différentes (basée sur la typologie des assiettes fiscales pour l'INRS-Urbanisation et sur le rapport population desservie/linéaire de réseau pour l'étude INRS-Eau), les valeurs obtenues sont parfaitement cohérentes.