AUD6212-07-

PROJET DE RECHERCHE TECHNOLOGIQUE APPLIQUÉE

AUSCULTATION ET DIAGNOSTIC DES RÉSEAUX D'AQUEDUC ET D'ÉGOUT DE LA VILLE DE MONTRÉAL

Annexes : Le réseau d'aqueduc

Projet en partenariat

Ville de Montréal
Conseil National de Recherches Canada
Institut National de Recherche Scientifique-Eau
Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines

Avec la participation financière du Ministère des Affaires Municipales

Septembre 1999

(Version non définitive)

TABLE DES MATIÈRES

3. GÉNÉRALITÉ - ASPECTS STRUCTURAUX 1

3.1 MISE EN SITUATION 2
3.1.2 Éléments spécifiques au projet 2

4 LE RÉSEAU DE CONDUITES SECONDAIRES – ASPECTS STRUCTURAUX 4

4.1 L'ÉTAT ACTUEL DU RÉSEAU SECONDAIRE 4
4.1.3 Une première image globale 4
4.1.4 Les variations du taux de réparations 7
a) Analyse par région 7
b) La période de construction (âge) 11
c) Le diamètre 11
d) Le sol 11
e) La pression 12
f) L'épandage de fondants 12
g) Conclusion 13
4.3 TENIR COMPTE DES FUITES 13
4.3.1 Analyse des résultats de la campagne 1995-1996 13
a) Type de sol 13
b) Période de construction (âge) 15
c) Fuites suivant les régions 16
d) Bris et fuites sur les mêmes conduites 18
e) Conclusion sur l'analyse des résultats de la campagne 1995-1996 18
4.3.2 Débits moyens distribués 19
4.3.3 Débits de nuit distribués 21
4.3.3. Les débits minimums 21
4.3.3.1.1 Débits minimums pour l'ensemble du territoire 21
4.3.3.1.2 Débits minimums par zone de distribution 23
4.3.3.1.3 Débit de nuit des municipalités clientes 24
4.3.3.1.4 Évolution des débits 27
4.3.3.2 Débit de nuit et de jour dans des secteurs de zones de distribution 30
4.3.3.2.1 Parties de la zone de distribution 1 30
4.3.3.2.2 Partie de la zone de distribution 2 32
4.3.3.2.3 Conclusion des mesures des parties de zone de distribution 1 et 2 33
4.3.3.3 Analyse des résultats des campagnes d'isolation de secteurs 33
4.3.3.3.1 Méthodologie 33
4.3.3.3.2 Résultats 34
4.4 LES TYPES DE BRIS 36

5 ÉVOLUTION DE L'ÉTAT DU RÉSEAU SECONDAIRE – ASPECTS STRUCTURAUX 37

5.1 PRÉSENTATION DE LA RÉGION AHUNTSIC 38
5.2 ÉVOLUTION DES RÉPARATIONS ET DES TAUX DE RÉPARATIONS 41
5.3 AUGMENTATION DE DIFFÉRENTES VILLES DE RÉFÉRENCE 48

6 MÉTHODES D'ANALYSE – ASPECTS STRUCTURAUX 49

6.1 MÉTHODE 1 :APPROCHE GLOBALE SANS ÉVOLUTION 49
6.2 MÉTHODE 2 : SÉLECTION DES TRONÇONS-CRITIQUES 56
6.2.1 Taux et nombre de réparation de la région de Ahuntsic 56
6.2.2 Seuil de rentabilité de remplacement 57
6.2.3 Les tronçons critiques de Ahuntsic 60
6.2.4 Transposition à la ville 62
6.2.5 Intégration des programmes actuels 65
6.3 MÉTHODE 3 : ÉVOLUTION ET TAUX CRITIQUE PAR GROUPE 66
6.4 MÉTHODE 4 : MODÉLISATION DE L'EFFORT DE RÉNOVATION 66

6.6 RECOMMANDATIONS D'INTERVENTIONS 71
7 ÉQUIPEMENTS CONNEXES – ASPECTS STRUCTURAUX 72
7.1 ENTRÉES DE SERVICE 72
[redacted] ..... [redacted]
[redacted] ..... [redacted]
[redacted] ..... [redacted]
BILBLIOGRAPHIE 115

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 3-1 RÉSUMÉ DE L'INFORMATION CONSIDÉRÉE DANS LE PROJET 2
TABLEAU 4-1 RÉSUMÉ DES CARACTÉRISTIQUES DES CONDUITES SECONDAIRES DE LA VILLE DE MONTRÉAL 4
TABLEAU 4-2 ÉVALUATION DU NOMBRE D'INTERVENTIONS PAR RÉGION POUR L'ANNÉE 1996. 5
TABLEAU 4-3 TAUX DE RÉPARATION DE VILLES NORD-AMÉRICAINES 6
TABLEAU 4-4 LONGUEURS DE CONDUITE SELON LEUR TAUX DE RÉPARATION. 8
TABLEAU 4-5 PROPORTION DE TRONÇONS AVEC BRIS SELON L'INTENSITÉ D'ÉPANDAGE DE FONDANTS 13
TABLEAU 4-8 TAUX DE RÉPARATION ET DE FUITES SELON LE TYPE DE SOL. 14
TABLEAU 4-9 TAUX DE RÉPARATION ET DE FUITE SELON LA PÉRIODE DE CONSTRUCTION. 15
TABLEAU 4-10 TAUX DE RÉPARATION ET DE FUITES POUR LES CONDUITES DU 19E SIÈCLE 15
TABLEAU 4-11 RÉSUMÉ DU TAUX DE FUITE ET DE BRIS SELON LA RÉGION 16
TABLEAU 4-12 RÉSUMÉ DES PROPORTIONS DE CONDUITES SELON LA RÉGION ET LE TYPE DE SOL. 17
TABLEAU 4-13 RÉSUMÉ DES ÉCARTS À LA MOYENNE DU TAUX DE FUITE DE LA RÉGION DU SUD-OUEST EN FONCTION DU SOL. 17
TABLEAU 4-14 PROPORTION DE TRONÇONS AVEC ET SANS FUITES. 18
TABLEAU 4-15 DÉBITS DISTRIBUÉS AUX MUNICIPALITÉS CLIENTES DE LA VILLE DE MONTRÉAL. 19
TABLEAU 4-16 DÉBIT MOYEN PAR ZONE DE DISTRIBUTION POUR 1995 21
TABLEAU 4-17 DÉBITS JOURNALIERS MINIMUMS DE L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE DESSERVI. 21
TABLEAU 4-18 DÉBITS JOURNALIERS DES JOURNÉES MINIMALES DU MOIS D'AVRIL 1995. 22
TABLEAU 4-19 DÉBITS JOURNALIERS DES JOURNÉES MINIMALES DU MOIS DE DÉCEMBRE 1995. 22
TABLEAU 4-20 DÉBITS JOURNALIERS DES JOURNÉES MINIMALES DU MOIS D'AVRIL 1996. 22
TABLEAU 4-21 DÉBITS JOURNALIER DES JOURNÉES MINIMALES DU MOIS DE DÉCEMBRE 1996. 23
TABLEAU 4-22 DÉBITS MINIMUMS PAR ZONE DE DISTRIBUTION POUR L'ANNÉE 1996. 23
TABLEAU 4-23 DÉBIT MINIMAL POUR UNE JOURNÉE MINIMALE D'AVRIL 1996. 24
TABLEAU 4-24 DÉBIT MINIMAL POUR UNE JOURNÉE MINIMALE DE DÉCEMBRE 1996. 24
TABLEAU 4-25 DÉBITS JOURNALIERS DES MUNICIPALITÉS CLIENTES POUR LE JOUR MOYEN ET MINIMUM. 25
TABLEAU 4-26 DÉBITS DES TERRITOIRES DESSERVIS SELON LA ZONE DE DISTRIBUTION 26
TABLEAU 4-27 COMPARAISON DES RATIO QMIN/QMOY POUR LES JOURS MINIMUM, MOYENS ET MAXIMUMS 27
TABLEAU 4-28 ÉCART ENTRE LES DÉBITS MOYENS ET LES DÉBITS MINIMUMS POUR LES ANNÉES 1966, 1984 ET 1996. 28
TABLEAU 4-29 ÉVOLUTION DE L'ÉCART ENTRE LE DÉBIT DE NUIT MINIMAL ET LE JOUR MOYEN ANNUEL. 28
TABLEAU 4-30 DÉBITS MESURÉS POUR LA ZONE 1 ET LA PARTIE DE ZONE 1A. 30
TABLEAU 4-31 DÉBITS MESURÉS POUR LA ZONE 1 ET LA PARTIE DE ZONE 1B. 31
TABLEAU 4-32 RÉSUMÉ DES DÉBITS OBTENUS POUR LA ZONE 1ET LA PARTIE DE ZONE SITUÉE À L'EST DE MONTRÉAL-EST (1C) 31
TABLEAU 4-33 RÉSUMÉ DES DÉBITS OBTENUS POUR LA ZONE 2 ET LA PARTIE DE ZONE 2. 32
TABLEAU 4-34 DÉBIT MOYEN DES MUNICIPALITÉS CLIENTES DE LA ZONE 2. 33
TABLEAU 4-35 RÉSUMÉ DES MESURES DE DÉBITS DU SECTEUR 93-5 34
TABLEAU 4-36 RÉSUMÉ DES MESURES DE DÉBITS DU SECTEUR 90-9. 35
TABLEAU 4-37 RÉSUMÉ DES MESURES DE DÉBITS DU SECTEUR 92-4. 35
TABLEAU 4-38 NOMBRE DE BRIS PAR RÉGION SELON LES DIFFÉRENTS TYPES DE BRIS. 36
TABLEAU 4-39 TYPES DE BRIS SELON LE MATÉRIAU. 36
TABLEAU 5-1 CARACTÉRISTIQUES DES CONDUITES DE LA RÉGION DE AHUNTSIC. 40
TABLEAU 5-3 AUGMENTATION ANNUELLE DES RÉPARATIONS POUR DIFFÉRENTES VILLES NORD-AMÉRICAINES 49
TABLEAU 6-1 CARACTÉRISTIQUES DES RÉGIONS AVEC GROUPES CRITIQUES (TAUX ≥ 30 RÉP./100 KM-AN) 50
TABLEAU 6-2 PROFIL DES CONDUITES DE 8 ET 12 PO SELON LES SOLS ET LES PÉRIODES DE CONSTRUCTION - RDP 51
TABLEAU 6-3 RÉSUMÉ DES CONDUITES À REMPLACER SELON LEURS CARACTÉRISTIQUES - RDP 51
TABLEAU 6-4 RÉSUMÉ DES CONDUITES À REMPLACER SELON LEURS CARACTÉRISTIQUES - ST-MICHEL 52
TABLEAU 6-5 RÉSUMÉ DES CONDUITES À REMPLACER SELON LEURS CARACTÉRISTIQUES - SUD-OUEST 52
TABLEAU 6-6 RÉSUMÉ DES CONDUITES À REMPLACER SELON LEURS CARACTÉRISTIQUES - VILLE-MARIE. 53
TABLEAU 6-7 PROFIL DES CONDUITES DE 8, 10 ET 12 PO - PAT 53
TABLEAU 6-8 RÉSUMÉ DES CONDUITES À REMPLACER SELON LEURS CARACTÉRISTIQUES - PAT 54

TABLEAU 6-9 RÉSUMÉ DES CONDUITES À REMPLACER SELON LEURS CARACTÉRISTIQUES - AHUNTSIC 54
TABLEAU 6-10 RÉSUMÉ DES CONDUITES À REMPLACER SELON LEURS CARACTÉRISTIQUES - MERCIER 55
TABLEAU 6-11 RÉSUMÉ DES REMPLACEMENTS RECOMMANDÉS ET DES TAUX DE RÉPARATION POUR L'ENSEMBLE DE LA VILLE 55
TABLEAU 6-12 TAUX D'INTÉRÊT NET, TAUX D'INTÉRÊT ET TAUX D'INFLATION. 59
TABLEAU 6-13 SEUILS DE RENTABILITÉ ET LONGUEURS DE CONDUITE À REMPLACER SELON L'INTERVENTION RÉALISÉE SUR LA CHAUSSÉE 60
TABLEAU 6-14 REMPLACEMENT DE CONDUITE D'AQUEDUC PLANIFIÉ PAR LA VILLE DE MONTRÉAL EN RAISON DU NOMBRE DE BRIS. 65
TABLEAU 6-15 EXEMPLE DE CALCUL DU TAUX DE RÉPARATION POUR L'HYPOTHÈSE D'UN INVESTISSEMENT ANNUEL EN RÉNOVATION DE 10 400 000$ À PARTIR DE L'AN 2000 69
TABLEAU 6-16 LINÉAIRE DE CONDUITES REMPLACÉES ANNUELLEMENT DANS DIFFÉRENTES AUTRES DU MONDE 71
TABLEAU 7-1 RÉPARTITION DES BRIS DE SERVICE POUR LES QUATRE SECTEURS DE LA RÉGION DE CÔTE-DES-NEIGES/NOTRE-DAME-DE-GRÂCE 72
TABLEAU 7-2 COMPARAISON DU POURCENTAGE DE CONDUITES AVEC ET SANS BRIS POUR LES QUATRE SECTEURS DE LA RÉGION DE CÔTE-DES-NEIGES/NOTRE-DAME-DE-GRÂCE 72
[redacted] .....
[redacted] .....
[redacted] .....
[redacted] .....
[redacted] .....

LISTE DES FIGURES

FIGURE 4-1 LONGUEUR DE CONDUITES SELON LE TAUX DE RÉPARATION POUR L'ENSEMBLE DES RÉGIONS DE MONTRÉAL. 9
FIGURE 4-2 RÉPARTITION CUMULATIVE DES LONGUEURS DE CONDUITE SELON LES TAUX DE RÉPARATION POUR LES RÉGIONS DE MONTRÉAL 10
FIGURE 4-2 RÉPARTITION DES BRIS DE CONDUITES ENTRE TRONÇONS SELON LE MODE D'ÉPANDAGE DE FONDANTS APPLIQUÉ 12
FIGURE 4-3 TAUX DE BRIS ET DE FUITES SELON LE TYPE DE SOL 14
FIGURE 4-4 RELATION ENTRE LE TAUX DE BRIS ET DE FUITES DES RÉGIONS DE LA VILLE DE MONTRÉAL. 16
FIGURE 4-5 RÉPARTITION DES TRONÇONS AVEC ET SANS FUITES ET BRIS DE CONDUITES. 18
FIGURE 4-6 DÉLIMITATION DES ZONES DE DISTRIBUTION D'EAU 20
FIGURE 4-7 ÉVOLUTION DU DÉBIT MINIMUM DU JOUR MINIMUM ET DU DÉBIT JOURNALIER MOYEN DE 1966 À 1996 29
FIGURE 5-1 ÉVOLUTION DU NOMBRE DE RÉPARATIONS SELON LE MATÉRIAU POUR LA VILLE DE CALGARY 38
FIGURE 5-2 TERRITOIRE ANNEXÉ ET DATE D'ANNEXION DE LA RÉGION DE AHUNTSIC 39
FIGURE 5-3 RÉPARATIONS DE AHUNTSIC 1973-1997 (HORS CAMPAGNE DE RECHERCHE DE FUITES 1995-1996) 41
FIGURE 5-4 AHUNTSIC – ÉVOLUTION DES RÉPARATIONS 1973-1979 42
FIGURE 5-5 AHUNTSIC – ÉVOLUTION DES RÉPARATIONS 1973-1982 43
FIGURE 5-6 AHUNTSIC – ÉVOLUTION DES RÉPARATIONS 1983-1997 43
FIGURE 5-7 AHUNTSIC – ÉVOLUTION DES RÉPARATIONS 1987-1997 44
FIGURE 5-8 AHUNTSIC – ÉVOLUTION DES RÉPARATIONS 1989-1997 45
FIGURE 5-9 AHUNTSIC – ÉVOLUTION DES RÉPARATIONS 1980-1997 45
FIGURE 5-10 ÉVOLUTION DU TAUX DE RÉPARATION 1960-2010 46
FIGURE 5-11 AHUNTSIC – ÉVOLUTION DES RÉPARATIONS 1973-1997 47
FIGURE 5-12 AHUNTSIC – ÉVOLUTION DU NOMBRE DE RÉPARATIONS 1973-1982/1988-1997 48
FIGURE 6-1 ÉVOLUTION DU TAUX DE RÉPARATION DES CONDUITES SECONDAIRES DE LA RÉGION DE AHUNTSIC DEPUIS 1980 (FENÊTRE DE 4 ANS) 56
FIGURE 6-2 DIFFÉRENTS CAS POSSIBLES DE REGROUPEMENT DE TRONÇONS CRITIQUES 61
FIGURE 6-3 ÉVOLUTION DU TAUX MOYEN DE RÉPARATION, DU NOMBRE DE TRONÇONS CRITIQUES ET DES LONGUEURS CRITIQUES DE LA RÉGION DE AHUNTSIC 62
FIGURE 6-4 SCHÉMA LOGIQUE DES TRONÇONS DE CONDUITES POUR L'ENSEMBLE DE LA VILLE 64
FIGURE 6-6 ÉVOLUTION DU TAUX DE RÉPARATION AVEC ET SANS RÉNOVATION (HYPOTHÈSE BASSE) 66
FIGURE 6-7 ÉVOLUTION DU TAUX DE RÉPARATION AVEC ET SANS RÉNOVATION (HYPOTHÈSE MOYENNE) 67
FIGURE 6-8 ÉVOLUTION DU TAUX DE RÉPARATION AVEC ET SANS RÉNOVATION (HYPOTHÈSE HAUTE) ... 68
FIGURE 7-1 DISTRIBUTION DES TRONÇONS AVEC ET SANS BRIS DE SERVICE 72

3. Généralité - Aspects Structuraux

3.1 Mise en situation

3.1.2 Éléments spécifiques au projet

Suivant la démarche décrite dans le texte principal, nous cherchons à rassembler, **pour chaque tronçon de conduite**, les informations relatives à sa description (ex : diamètre, matériau), à son environnement (ex : sol, pression) et à son état (ex : réparation sur bris et fuites). Le tableau 3-1 résume ainsi la situation en matière d'information recherchée, obtenue, retenue et analysée.

Tableau 3-1 Résumé de l'information considérée dans le projet

Information	Source d'information	Commentaires
Localisation des tronçons de conduites	Carto: service géomatique de la Ville (CD ROM) Tronçons: fichier chaussée du même service	Remplacée par localisation des tronçons de chaussées (plus de 21,000)
Description des conduites		
Longueur	Plans papier et fichier *data ease* de la Ville	Calculée à partir de notre base de données
Diamètre	Plans papier et fichier *data ease* de la Ville	Saisie par zone et exception
Âge	Plans papier et fichier *data ease* de la Ville	Saisie par zone sauf remplacement, Environ 300 zones pour tout le territoire
Matériaux	Fichier *data ease* de la Ville	Remplacée par un lien direct avec l'âge
Environnement		
Conditions de pose	Aucune source complète identifiée	Abandonnée comme intrant mais considérée dans l'analyse (annexion)
Sol	Carte papier de la Commission géologique du Canada 1975	Saisie par zone; environ 200 pour tout le territoire
Présence de dalles	Listing par rue du Laboratoire de la Ville	Abandonnée comme intrant, mais considérée dans l'analyse
Densité de circulation	Base de données de la Ville	Devenue disponible trop tard dans le projet
Niveau de la nappe	Carte papier des Richesses Naturelles	Abandonnée suite à l'appréciation de la Ville
Pression	Suivant fichier *bf data ease* de la Ville	Saisie par zone; environ 350 pour tout le territoire
Utilisation de fondants	Carte papier de la Ville, seules les rues avec des pentes supérieures à 8% ont été fournies	Saisie individuelle sur environ 150 tronçons
État		
Réparation de bris ou fuites	Archives des 9 régions; supports variés: listing papier, archives papier, cartes papier, fichier *data ease* 1993 à 1996 pour les 9 régions 2 régions de 1973 à 1996	Saisie individuelle :environ 1500 réparations sur l'ensemble du territoire. Voir analyse pour distinction bris vs fuites
Fuites	Listing papier de la Ville : fuites détectées par la campagne 1995-1996	Saisie individuelle : 460 sur l'ensemble du territoire

Nous soulignons les éléments suivants :

- Comme la numérisation du réseau d'aqueduc est actuellement en cours à la Ville, nous avons dû nous référer à la numérisation de la chaussée disponible sous une forme compatible avec nos objectifs et techniques d'analyse;

- Compte tenu de l'ampleur du réseau, du budget de l'étude et de la nature des objectifs visés, le type de saisie retenue introduit des erreurs ponctuelles. Par exemple, chaque tronçon (de rue) ne se voit affecté qu'une seule conduite de caractéristiques uniques, alors que ledit tronçon peut comprendre une ou plusieurs conduites à caractéristiques variables (changement de diamètre par exemple). Ce type d'erreur affecte très peu nos recommandations globales, mais devient critique lorsqu'il s'agit d'utiliser ponctuellement la base de données sur un tronçon particulier;

- Étant donné les contraintes budgétaires de l'étude, plusieurs variables ont été écartées des intrants de notre analyse. La présence de dalles de béton, de la nappe phréatique, de même que le niveau de circulation constituent des exemples. Bien que ces variables aient pu nous aider à expliquer les causes de bris, elles n'auraient sans doute pas changé notre constat global ni nos recommandations.

4 Le réseau de conduites secondaires – Aspects Structuraux

4.1 L'état actuel du réseau secondaire

4.1.3 Une première image globale

L'ensemble du réseau secondaire dont la Ville est directement responsable comprend 2294 km de conduites de Ø300mm et moins [Base de données *Data Ease*]. On retrouve dans le tableau 4-1 la distribution des longueurs suivant les âges, les matériaux et les diamètres. Ces informations proviennent de la base de données de la Ville.

Tableau 4-1 Résumé des caractéristiques des conduites secondaires de la ville de Montréal

Période de construction ou de remplacement	Longueur de conduites secondaires (km)	% de longueur
Av. 1900	176	8
1900 à 1909	147	6
1910 à 1919	361	16
1920 à 1929	196	9
1930 à 1939	123	5
1940 à 1949	91	4
1950 à 1959	504	22
1960 à 1969	254	11
1970 à 1979	163	7
1980 à 1995	278	12
Total	2294	100

Diamètre (po)	Longueur de conduites secondaires (km)	% de longueur
4	20	1
6	250	11
8	1373	60
10	125	5
12	526	23
Total	2294	100

Matériau	Longueur de conduites secondaires (km)	% de longueur
Acier	1.2	0.1
Béton	0.01	0
Fonte ductile	570	24.8
Fonte grise	1721	75

Dès le début de l'étude, nous avons demandé aux responsables de chacune des régions de sélectionner 10% des dossiers de réparations effectuées en 1996, afin de se donner une vue globale de la répartition des interventions. Le tableau 4-2 présente la compilation des interventions par catégories. Ces données permettent d'apprécier la répartition des bris sur le réseau et par région.

Tableau 4-2 Évaluation du nombre d'interventions par région pour l'année 1996.

Région	Nombre de dossiers fournis				
	Entrées de services	Borne-fontaines	Conduites aqueduc	Vanne	Total
Ahuntsic	19	13	4	3	39
Villeray/St-Michel	17	-	8	-	25
Rosemont/Petite-Patrie	19	-	4	-	23
Mercier/Hochelaga	20	-	5	1	26
Plateau/Mont-Royal/Centre-Sud	32	4	1	-	37
Ville-Marie	20	3	8	3	34
Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce	38	1	7	-	46
Sud-Ouest	24	1	6	-	31
Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles	7	-	8	-	15
Total	196	22	51	7	276
Pourcentage (%)	71	8	18.5	2.5	100

Les pourcentages globaux d'interventions sur les entrées de services, les bornes-fontaines et des conduites sont respectivement de 70-10-20, valeurs validées par les responsables des régions. Certains suggèrent même une répartition des interventions allant jusqu'à 80% sur les entrées de services et 20% sur les conduites d'aqueduc.

Par la suite, les régions nous ont fourni toutes les données relatives aux réparations sur les conduites d'aqueduc pour la période 1993-96. Certaines régions ont aussi pu fournir les données concernant les réparations sur les entrées de services. Les données transmises ont été saisies et transformées en base de données (outils que la Ville a entre ses mains).

L'état global des conduites d'aqueduc des régions est donné par le nombre de réparations annuelles sur une base de 100 km de conduite. Le taux moyen de réparation sur bris seulement pour les années 1993-1996 s'établit à **19,6 réparations/100km*an**.

À titre indicatif, le tableau 4-3 présente les taux de réparations pour différentes villes nord-américaines. Une précision s'impose avant de comparer les taux de réparation. En effet, puisque certaines villes ne possèdent pas de programme de recherche de fuites systématiques, les taux de réparation de ces villes sont beaucoup plus faibles que ceux des villes ayant un programme bien établi. Les taux de ces villes sont différents et ne peuvent être comparés. Ainsi, lorsque l'on compare ces chiffres, il faut toujours se questionner à savoir s'ils sont comparables.

Tableau 4-3 Taux de réparation de villes Nord-Américaines

Villes	Période	Taux de réparation (rép/100km-an)	Référence
QUÉBEC			
Gatineau	92-93	37	[Gatineau]
Jonquière	89-94	30	[Rodrigue]
Laval	95	35	[Laval]
	92-95	39.1	[Laval]
Québec	88-95	21	[Québec]
Sherbrooke	85-95	21	[Sherbrooke]
	92-93	24	[CNRC-1] p. 6 et 7
Ste-Foy	95	28	[Ste-Foy]
CANADA			
Burnaby	92-93	9	[CNRC-1] p. 6 et 7
Calgary	92-93	14.5	[CNRC-1] p. 6 et 7
Canada	92-93	19	[CNRC-1]
Corner Brook	92-93	31	[CNRC-1] p. 6 et 7
East Bay	70-82	17	[AWWARF-1] p. 16
Edmonton	92-93	27	[CNRC-1] p. 6 et 7
Fredericton	92-93	11	[CNRC-1] p. 6 et 7
Halifax	92-93	28	[CNRC-1] p. 6 et 7
London	92-93	12.5	[CNRC-1] p. 6 et 7
Moose Jay	92-93	16	[CNRC-1] p. 6 et 7
Mount Pearl	92-93	7	[CNRC-1] p. 6 et 7
North-York	92-93	62	[CNRC-1] p. 6 et 7
Ottawa-Carleton	92-93	13	[CNRC-1] p. 6 et 7
Pembroke	92-93	13	[CNRC-1] p. 6 et 7
Peterborough	92-93	37	[CNRC-1] p. 6 et 7
Régina	92-93	9	[CNRC-1] p. 6 et 7
St-John's	92-93	13	[CNRC-1] p. 6 et 7
Scarborough	92-93	11	[CNRC-1] p. 6 et 7
Summerside	92-93	10.5	[CNRC-1] p. 6 et 7
Sydney	92-93	30	[CNRC-1] p. 6 et 7
Vancouver	92-93	7	[CNRC-1] p. 6 et 7
Victoria	92-93	9	[CNRC-1] p. 6 et 7
Windsor	92-93	21	[CNRC-1] p. 6 et 7
Winnipeg	92-93	32.5	[CNRC-1] p. 6 et 7
ÉTATS-UNIS			
Denver	73-83	7	[AWWARF-1] p. 16
Kenosha	74-84	24	[AWWARF-1] p. 16
Louisville	86-93	15	[AWWARF-2] p. 93
Milwaukee	74-83	19	[AWWARF-1] p. 57
New York	72-76	5	[AWWARF-1] p. 16
Philadelphie	64-80	17	[AWWARF-1] p. 16
Minimum		5	
Maximum		62	
Moyenne		21	
Médianne		18	
OBJECTIF MONTRÉAL			
Objectif		16 à 19	[AWWARF-2] p. 59

4.1.4 Les variations du taux de réparations

Les variables explicatives utilisées sont : la période de construction, le type de sol, le diamètre et la pression interne.

En première analyse, nous avons établi les taux moyens de réparations sur bris pour chacune des 9 régions. À partir de ces résultats, il est possible de dresser un cadre d'analyse à suivre pour l'évaluation de l'influence de variables énumérées.

a) Analyse par région

L'année 1993 correspond aux dernières modifications des limites des régions administratives et correspond aussi à la première année commune d'informations disponibles sur les réparations de conduite de huit des neuf régions administratives. Ceci signifie que huit régions avaient des données pour les années 1993 à 1996. La neuvième région, Rosemont/Petite-Patrie, ne possède des données que pour les années 1994 à 1996. Étant donné l'importance du plus grand nombre d'années possibles pour mieux représenter l'état réel du réseau et du faible nombre de réparations de la région Rosemont/Petite-Patrie, l'année 1993 est gardée comme année de base pour l'analyse.

Une précision doit être apportée concernant la région du Sud-Ouest. En effet, le nombre de réparations évalué pour cette région ne tient pas compte des réparations effectuées à Ville St-Pierre. De plus, les réparations effectuées à Westmount sur la période de 1993 à 1995 ont aussi été exclues. Les longueurs de conduite de Ville St-Pierre étant faibles, l'erreur induite est donc négligeable. Pour ce qui est de Westmount, seulement 5 réparations en 1996 ont été fournies par la région. Le manque d'information pour les 3 autres années est également considéré négligeable. Malgré ces quelques données manquantes, la région du Sud-Ouest est tout de même conservée à l'intérieur de l'analyse.

La première analyse des variables explicatives est effectuée sur l'ensemble des conduites appartenant à la ville de Montréal. Les conduites construites par la ville de Montréal ont des spécifications particulières, telles que l'utilisation de classes de conduite spécifiques. Les conduites des villes récemment annexées, telles Ville St-Michel et Pointe-aux-Trembles, n'ont pas été construites selon les mêmes critères. Pour ces raisons, les régions de Villeray/St-Michel et de Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles seront analysées séparément.

L'analyse de ces résultats montre que les résultats diffèrent entre les régions.

Dans un premier temps, une anomalie au niveau du nombre de réparations de la région de Rosemont/Petite-Patrie a été notée lors de la collecte des données de réparation. Comme l'indique le tableau de résultats, le nombre de réparations pour ce secteur est très faible. Seulement 27 réparations de conduite sur trois années nous ont été transmises par la région. Un taux de seulement 3 réparations/100 km de conduite-an est ainsi attribué à cette région, alors que la moyenne de toutes les régions est de 19,6 réparations/100 km de conduite-an. L'écart majeur entre le nombre de réparations de cette région et les autres régions ne s'explique pas; les régions voisines, Villeray/St-Michel, Plateau/Mont-Royal/Centre-Sud et Mercier/Hochelaga présentent des taux de réparation beaucoup plus élevés.

Trois des régions ont un taux de réparation 20% supérieur à la moyenne de l'ensemble de la ville, alors que deux régions ont un taux 20% inférieur à la moyenne. La région de Villeray/St-Michel obtient un taux global élevé en raison de la forte dégradation du secteur St-Michel qui, lui, obtient un taux trois fois plus élevés que le secteur Villeray. Ville St-Michel est bordée par deux carrières importantes. Bien que l'effet des carrières ne soit pas établi, l'analyse démontre que ce secteur a un haut taux de réparation. Les vibrations produites par les explosions répétitives pourraient expliquer ce taux de réparation élevé.

D'un autre point de vue, 7,5% de tous les tronçons ont eu au moins une réparation. Ces tronçons totalisent 10 % du linéaire total du réseau, soit 245 km de conduite. Sur ces 245 km, 80 % ont un taux de réparation inférieur à 300 réparations/100 km-an et 98 % un taux inférieur à 800 réparations/100 km-an. Le tableau 4-

4 présente les longueurs de conduite par groupe de taux de réparation et par région, alors que la figure 4-1 présentent la longueur de tronçons par taux de réparation.

Tableau 4-4 Longueurs de conduite selon leur taux de réparation.

Taux de réparations	Ahuntsic (km)	Villeray/St-Michel (km)	Rosemont/Petite-Patrie (km)	Mercier/Hochelaga (km)	Plateau/Mont-Royal Centre-Sud (km)	Ville-Marie (km)	Côte-des-Neiges Notre-Dame-de-Grace (km)	Sud-Ouest (km)	Rivière-des-Prairies Pointe aux-Trembles (km)	Total (km)	Total cumul. Décroissant de la limite maximale (km)
0-100	11.9	13.3	2.8	7.0	5.4	1.8	18.7	10.6	14.2	85.6	245.13
100-200	12.0	10.8	0.7	13.2	6.6	5.7	9.4	5.5	17.1	80.9	159.51
200-300	5.6	4.6	0.7	4.2	2.8	5.0	4.6	3.7	5.8	36.9	78.66
300-400	3.6	4.1	0.15	3.5	1.9	1.9	2.6	2	5.8	25.4	41.71
400-500	0.53	0.85	0.00	0.33	0.40	0.92	0.50	0.60	0.71	4.8	16.34
500-600	0.51	0.31	0.10	0.70	0.47	0.73	0.14	0.35	0.58	3.9	11.50
600-700	0.26	0.12	0.00	0.51	0.20	0.73	0.23	0.16	0.88	3.09	7.61
700-800	0.14	0.13	0.07	0.03	0.18	0.10	0.10	0.07	0.24	1.06	4.52
800-900	0.057	0.061	0	0	0	0.12	0.27	0.25	0.58	1.3	3.47
900-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0.2	2.13
1000-1100	0.074	0.072	0	0.049	0	0	0.02	0.10	0.10	0.4	1.94
1100-1200	0.023	0	0	0	0	0.04	0.11	0.06	0.22	0.5	1.53
1200-1300		0	0	0.020	0.021	0.04	0	0.08	0	0.2	1.07
1300-1400		0.091	0	0.018	0.036	0.02	0		0.11	0.3	0.91
1400-1500			0	0.088	0	0	0		0.04	0.1	0.64
1500-1600			0	0	0	0.02	0		0.02	0.03	0.51
1600-1700			0	0	0.016	0	0		0	0.02	0.48
1700-1800			0	0		0.03	0		0	0.03	0.46
1800-1900			0	0.013		0	0		0.07	0.08	0.44
1900-2000			0	0		0	0		0	0	0.35
2000-2100			0	0		0	0		0.09	0.09	0.35
2100-2200			0	0		0	0		0.01	0.01	0.27
2200-2300			0.011	0		0	0		0	0.01	0.26
2300-2400				0		0	0		0	0	0.25
2400-2500				0		0	0.02		0.05	0.07	0.25
2500-2600				0.0098		0			0.03	0.04	0.17
2600-2700				0		0			0	0	0.13
2700-2800				0		0			0	0	0.13
2800-2900				0.009		0			0	0.01	0.13
2900-3000				0		0.02			0	0.02	0.13
3000-3100				0					0	0	0.11
3100-3200				0.016	0.008				0	0.02	0.11
3200-3300									0	0	0.08
3300-3400									0.05	0.05	0.08
3400-3500									0	0	0.03
3500-3600									0	0	0.03
3600-3700									0	0	0.03
3700-3800									0	0	0.03
3800-3900									0	0	0.03
3900-4000									0.03	0.03	0.03
Total	34.7	34.4	4.5	29.7	17.9	17.2	36.6	23.4	46.8	245.1	-

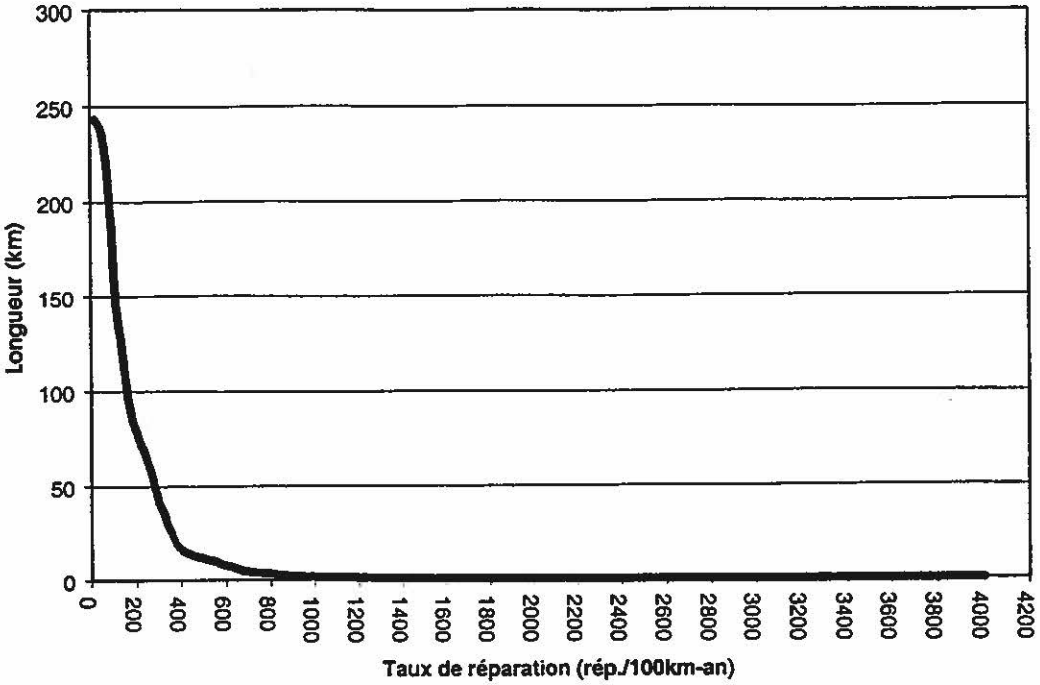


Figure 4-1 **Longueur de conduites selon le taux de réparation pour l'ensemble des régions de Montréal.**

La figure 4-2 présente la longueur de conduite par goupe de taux de réparation par région. La région de Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles se démarque par son linéaire de conduites réparées significativement supérieur. Puis, la région de Rosemont/Petite-Patrie présente une courbe dont la pente est peu prononcée en raison du faible taux de réparation relevé. À l'exception de ces 2 régions, les courbes sont plutôt regroupées.

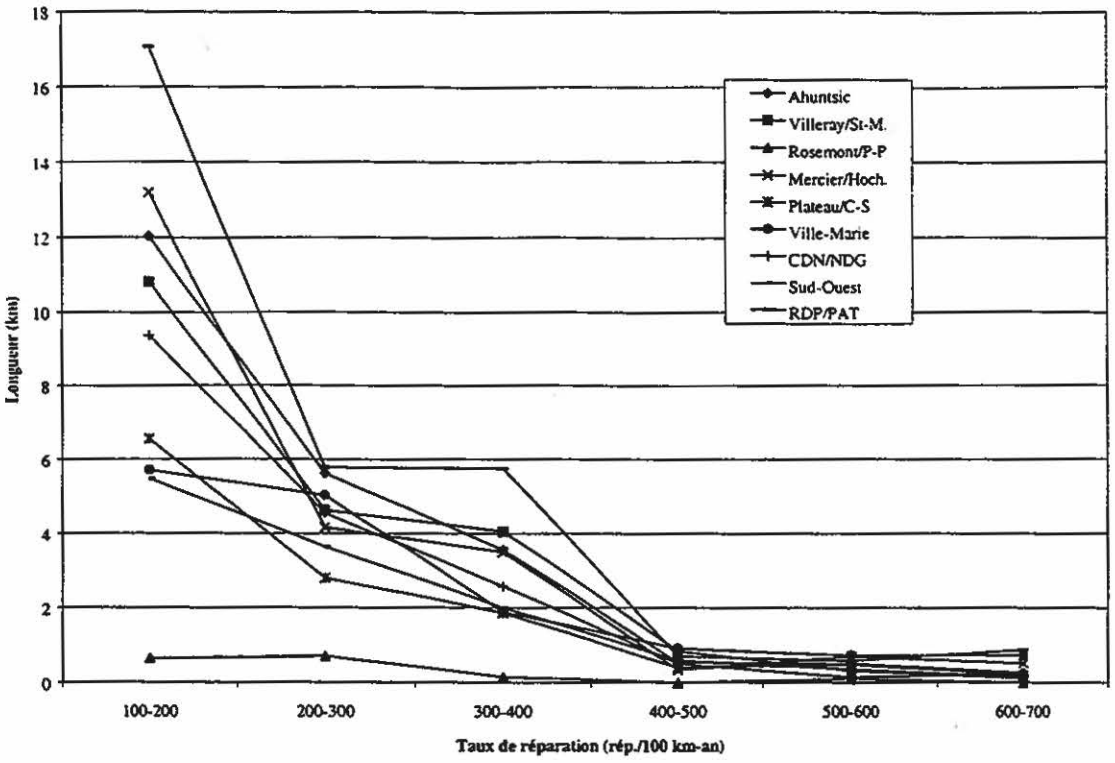


Figure 4-2 Répartition cumulative des longueurs de conduite selon les taux de réparation pour les régions de Montréal

Suite aux résultats obtenus avec l'analyse par région, l'influence de chaque variable explicative sera analysée pour chacun des regroupements suivants :

- Toutes les conduites de la ville de Montréal (Total des 9 régions);
- Toutes les conduites, excluant celles des régions de Villeray/St-Michel et de Rivière-des-Prairies/ Pointe-aux-Trembles (Total des 7 régions non annexées);
- Les conduites des régions de Villeray/St-Michel et de Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles (Total des 2 régions annexées).

Les variables explicatives traitées sont :

- Période de construction;
- Diamètre;
- Type de sol;
- Pression.

Une analyse de sensibilité sur les tronçons enfouies sous des rues sollicitées par d'intensif épandage de fondants est également complétée à la suite.

b) La période de construction (âge)

L'étude des taux de réparation par période de construction révèle des taux de 25 à 35 % supérieurs à la moyenne pour les conduites du 19^{e} siècle et celles installées entre 1940 et 1959. Les conduites installées entre 1910 et 1919, entre 1930 et 1939 et après 1970 sont caractérisées par des taux de 20 à 45 % inférieur à la moyenne.

La région du Plateau/Mont-Royal/Centre-Sud obtient un haut taux pour la période 1950-59. Ce taux n'est toutefois basé que sur 500 m de conduite.

Pour le total des 7 régions non annexées, ce sont les conduites du 19^{e} siècle qui se démarquent par un taux élevé, alors les deux régions annexées sont caractérisées par des taux élevés pour les conduites posées entre 1940 et 1959.

c) Le diamètre

Pour l'ensemble de la ville, les conduites de 6 et 10 pouces de diamètre se démarquent par un taux de réparation significativement plus élevé que les autres. Les taux élevés pour ces diamètres sont principalement dus à l'influence de la région Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles. Ces taux de réparation sont plus de 4 fois supérieur à la moyenne.

Les conduites de 6 pouces de diamètre ont un taux supérieur à la moyenne de 30 % et plus dans 5 des régions. Le taux élevé des conduites de 10 pouces de diamètre provient principalement de 3 régions, qui ont des taux 130 % et plus supérieur à la moyenne.

Il est à noter que les conduites de diamètre de 6, 10 et 12 pouces de la région de Ville-Marie présentent des taux de réparation supérieurs à la moyenne de plus de 75 %.

Pour l'ensemble des 7 régions non annexées, les conduites de 10 pouces de diamètre présentent un taux de réparation plus élevé. Ce sont les régions de Ville-Marie et du Sud-Ouest qui semblent en cause. Une analyse plus détaillée de l'âge et du type de sol pour ces conduites permettrait d'expliquer ces résultats.

Pour les 2 régions annexées, les conduites de 6 pouces de diamètre présentent de très hauts taux de réparation. Pour la région de Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles, les conduites de 10 pouces de diamètre démontrent aussi une dégradation élevée des conduites.

d) Le sol

Pour l'ensemble des régions de la ville de Montréal, les conduites enfouies dans un sol argileux et tourbeux obtiennent un taux de réparation plus élevé que les autres types de sol. Pour l'argile et le sable, les taux de réparation de 4 des 9 régions dépassent la moyenne globale de plus de 20%. Quant au sol de type tourbe, il dépasse la moyenne dans 3 des 5 régions dans lesquelles on le retrouve. Le roc présente un taux par région beaucoup plus faible que la moyenne globale à l'exception toutefois des régions de Ahuntsic et de Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles qui sont près du taux moyen de réparation.

En regardant les taux pour l'ensemble des conduites des 7 régions non annexées, seules les conduites enfouies dans un sol de type tourbe présentent un taux élevé de réparations. Le taux de réparation des conduites enfouies dans un sol argileux n'est plus aussi élevé. Par contre, les tiers des régions visées conservent un taux supérieur à 20%. Pour le sol sablonneux, la moitié des régions obtiennent un taux élevé. Le taux élevé du sol tourbe reste marquant au niveau global ainsi que pour la moitié des régions composées de sol tourbe. La région de Ville-Marie obtient des taux élevés pour trois des cinq types de sol.

Pour les deux régions annexées, le taux de réparation des conduites enfouies dans l'argile est supérieur de 30% à la moyenne globale. Le sol tourbe de la région de Villeray/St-Michel présente aussi un fort taux de réparation. Dans la région de Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles, le sol sablonneux présente un taux élevé, supérieur à la moyenne de plus de 30%.

e) La pression

Au niveau de l'ensemble des régions, les conduites ayant les plus fortes pressions semblent avoir des taux de réparation supérieur à la moyenne globale, alors que les conduites ayant de faibles pressions récoltent des taux de réparation inférieur à la moyenne globale.

Au niveau régional, les tendances sont moins démarquées. Pour cinq des neuf régions, un taux supérieur à 30% est remarqué pour les conduites ayant la pression la plus élevée de la région. Ici, les conduites des régions annexées ne présentent pas de tendances différentes, à l'exception de la région RDP/PAT qui présente un taux élevé à des pressions supérieures à 550 kPa.

f) L'épandage de fondants

L'épandage intensif de fondants sur des tronçons de chaussée est le dernier facteur d'influence analysé. Pour déterminer son influence, les tronçons subissant un épandage particulier sont analysés. Selon la politique d'épandage 1996-1997 de la ville de Montréal, tous les tronçons ayant une pente de plus de 8 % sont soumis à un épandage de fondants particulier. Sur ces tronçons de chaussées, l'épandage s'effectue en continu sur toute la longueur du tronçon quelle que soit la quantité de neige tombée. De plus, la fréquence d'épandage y est plus élevée. Sur l'ensemble de la ville, 5 des 9 régions ont des tronçons répondant à une politique d'épandage intense. Seuls ces tronçons nous ont été fournis pour analyse.

Sur ces tronçons, la concentration de sel contenu dans le sol est ainsi plus élevée qu'ailleurs. Or, une plus grande concentration de sel peut favoriser la formation de cellules corrosives entre le sol et la conduite, due à une diminution de la résistivité du sol.

La figure 4-2 illustre la répartition entre les tronçons soumis à un épandage particulier et les tronçons réguliers du nombre de bris rapportés entre 1993 et 1996. Les proportions relatives sont présentées au tableau 4-5.

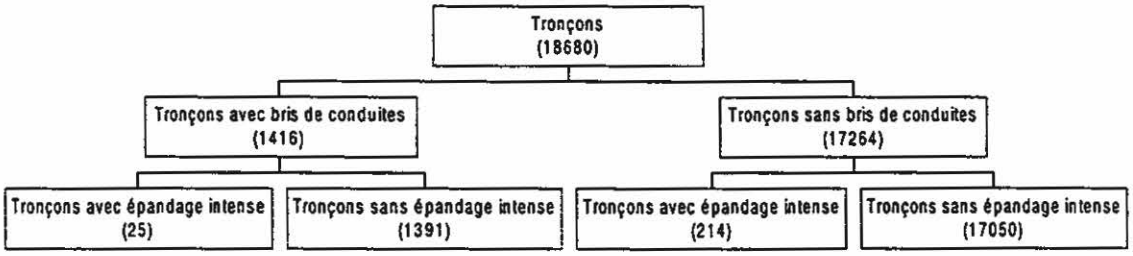


Figure 4-2 **Répartition des bris de conduites entre tronçons selon le mode d'épandage de fondants appliqué**

Tableau 4-5 Proportion de tronçons avec bris selon l'intensité d'épandage de fondants

Tronçons	Tronçons avec bris (%)	Tronçons sans bris (%)
Tronçons avec épandage intensif	10.5	89.5
Tronçons sans épandage intensif	7.5	92.5

Les conduites ayant eu un épandage intense présentent une proportion de bris 40 % supérieure au conduite sans épandage intensif. Ces résultats montrent que l'épandage particulier influence le nombre de tronçons avec bris.

Le taux de réparations des 45 km de tronçon avec épandage particulier s'élève à 17,2 réparations/100 km-an. Cette valeur est moins de 15% inférieur à la moyenne des régions et n'est pas significative. Une analyse à l'aide des variables explicatives a été effectuée, mais ne permet pas de conclure de l'influence des fondants car les longueurs par classe sont généralement faible.

g) Conclusion

En conclusion, nous estimons avoir confirmé l'influence de l'âge, du type de sol, de la pression statique, de l'épandage de fondants sur l'apparition de bris de conduite. De plus, les résultats observés pour les villes annexées révèlent aussi l'influence de la qualité de construction, cette dernière pouvant différer d'une région à l'autre selon les normes de construction appliquées. D'autres types d'analyses pourraient permettre d'approfondir ces relations et de mieux isoler l'influence spécifique de chacune de ces variables. D'autres variables pourraient également être ajoutées (intensité de la circulation par exemple). Finalement certaines des variables utilisées (type de sol par exemple) sont relativement imprécises et pourraient être remplacées par des mesures directes. Dans le cas des sols, on pourrait par exemple utiliser une mesure de résistivité plutôt qu'une simple classification basée sur la nature du sol dans le 1er mètre.

4.3 Tenir compte des fuites

4.3.1 Analyse des résultats de la campagne 1995-1996

En 1995 et en 1996, la firme Aqua-Réhab a été mandatée pour effectuer une recherche de fuites sur le réseau d'aqueduc à l'aide de corrélateurs. Au total, 454 fuites ont été localisées. On peut remarquer que ce nombre de fuites correspond approximativement au nombre de bris réparés annuellement.

Dans cette section, l'analyse de ces fuites vise à mieux saisir les phénomènes expliquant l'apparition des fuites. Les fuites localisées par la firme privée ont été ajoutées à la base de données. Les analyses des conduites avec fuites portent sur le taux de fuite selon les différents types de sols et les périodes de construction. Par la suite, les conduites ayant des fuites sont analysées pour déterminer si les fuites ont tendance à se produire sur des conduites ayant déjà eu un bris.

a) Type de sol

Pour s'assurer qu'aucune fuite réparée ne rentre dans les statistiques des conduites avec bris, seules les réparations effectuées en 1993 et 1994 ont été gardées. Le tableau 4-8 présente le taux de bris, le taux de fuite et le taux de réparation. Le taux de fuite est défini comme le nombre de fuites par tronçon de 100 km

par année correspondant à la campagne 1995-1996. Dans l'ensemble, le sable et la tourbe ont des taux de fuite plus élevés. La porosité de ces sols permet à l'eau de se frayer un chemin vers la nappe phréatique ou vers les conduites d'égouts situées à proximité, ou encore de s'absorber dans le sol jusqu'à saturation, plutôt que de remonter à la surface tel un bris.

L'argile et le till obtiennent un taux de fuite faible, alors que le roc obtient un taux de fuite moyen.

Tableau 4-8 Taux de réparation et de fuites selon le type de sol.

Type de sol	Longueur %	Nbre de bris 93-94	Taux bris (bris/100km-an)	Nbre de fuite	Taux fuite (fuites/100km-an)	Taux total (rép./100km-an)
Argile	28	401	29	114	16	45
Roc	14	78	11	64	19	30
Sable	28	236	18	164	24	42
Till	27	206	17	93	15	31
Tourbe	3	48	37	19	29	66
Total	100	969	20	454	19	39

Selon le taux total, on peut distinguer trois groupes de conduites :

- conduite dans la tourbe : taux total haut;
- conduite dans le sable et l'argile : taux total moyen ;
- conduite dans le roc et le till : taux total moyen-faible.

Le graphique qui suit permet de voir la relation entre les bris et les fuites pour un type de sol donné.

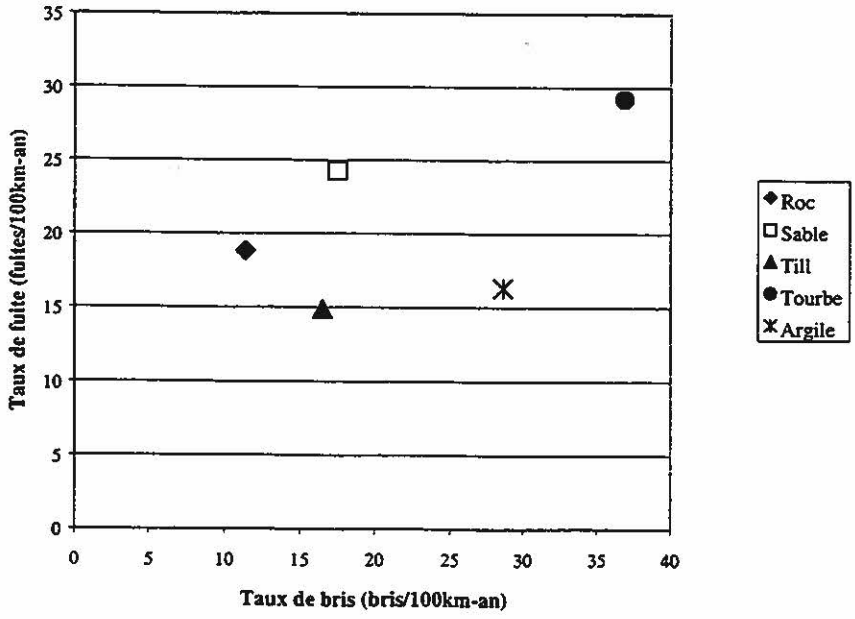


Figure 4-3 Taux de bris et de fuites selon le type de sol.

b) Période de construction (âge)

Le tableau 4-9 présente les bris et les fuites selon les périodes de construction.

Tableau 4-9 Taux de réparation et de fuite selon la période de construction.

Période de construction	Linéaire de conduites %	Nbre. de bris 1993-1994	Taux de bris (bris/100km-an)	Nbre. de fuites 1995 ou 1996	Taux de fuite (fuites/100km-an)	Taux total. (rép/100km-an)
1899	10.7	142	27.5	88	**34.1**	**61.6**
1900 à 1909	11.1	92	17.2	52	19.5	36.7
1910 à 1919	17.9	118	13.7	110	**25.5**	39.2
1920 à 1929	11.8	93	16.3	25	8.8	25.1
1930 à 1939	2.5	18	14.8	12	19.7	34.5
1940 à 1949	1.0	12	25	3	12.5	37.5
1950 à 1959	27.3	374	28.5	97	14.8	**43.3**
1960 à 1969	8.6	72	17.4	37	17.9	35.3
1970 à 1979	1.6	7	9.0	8	20.5	29.5
1980 à 1995	7.4	41	11.5	22	12.4	23.9
Total	100.0	969	20.1	454	18.9	39.0

Les conduites construites au siècle dernier et celles datant des années 1910-19 présentent les taux de fuite les plus élevés, alors que celles construites entre 1920 et 1929 ont le taux de fuite le plus faible. Au niveau du taux total, les conduites datant du siècle dernier présentent les valeurs les plus élevées. Le type de sol entourant les conduites datant de 1899 et moins peut expliquer en partie le haut taux de fuite et de réparation total. Les types de sol pour cette période sont présentés au tableau 4-10.

Tableau 4-10 Taux de réparation et de fuites pour les conduites du 19^{e} siècle

Type de sol	% 1899	% ville	Bris 93-94	Taux bris	Fuite	Taux fuite	Taux total
Argile	31	28	43	27	16	20	46
Roc	2	14	3	25	4	**67**	92
Sable	41	28	64	30	50	**47**	77
Till	22	27	25	22	10	17	39
Tourbe	3	3	7	50	8	**114**	164
Total	100	100	142	28	88	34	62

Le type de sol de cette période de construction a une proportion de sable augmentant le nombre de fuites dans cette région. Le taux de fuite de cette période peut donc s'expliquer par le type de sol. On peut remarquer un taux élevé de fuites dans le roc. Ce taux est explicable par le faible linéaire. Une variation d'une fuite à une répercussion importante sur le taux calculé.

c) Fuites suivant les régions

Comme les fuites peuvent être un problème dans certaines régions seulement, les taux de bris et de fuites ont été étudiés selon les différentes régions. Les résultats sont présentés au tableau 4-11 et la figure 4-4 présente les regroupements de régions ayant des taux de fuite et de bris semblables.

Tableau 4-11 Résumé du taux de fuite et de bris selon la région.

Région	Longueur (km)	Taux fuite (fuites/100km-an)	Taux bris 93-96 (bris/100km-an)	Taux total (rép./100km-an)
Ahuntsic	309	13	20	33
Villeray/St-Michel	222	27	27	54
Rosemont	224	7	3	10
Mercier	286	8	21	29
Plateau	202	31	17	48
Ville-Marie	192	38	24	61
CDN/NDG	360	17	16	33
Sud-Ouest	224	27	18	46
RDP/PAT	387	15	27	42
Total	2405	19	20	38

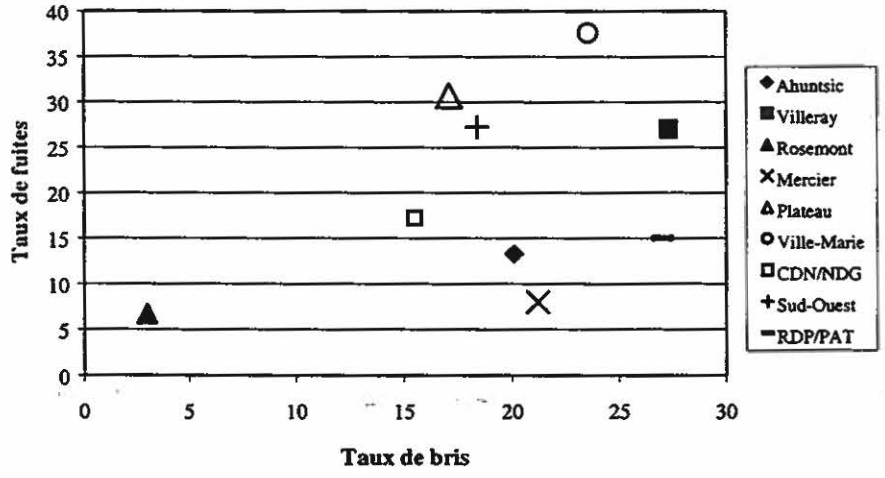


Figure 4-4 Relation entre le taux de bris et de fuites des régions de la ville de Montréal.

La figure 4-4 permet d'identifier deux regroupements de régions
1) les régions Villeray/St-Michel, Plateau, Ville-Marie et Sud-Ouest;
2) les régions Ahuntsic, Mercier, CDN/NDG, RDP/PAT.

Le premier regroupement montre des taux de fuite plus élevé tandis que le second présente des taux de fuite plus faible.

L'étude des caractéristiques des régions selon les deux regroupements démontre que les conduites ayant un taux de fuite élevé sont celles composées de conduites âgées, tandis que le second groupe est composé de conduites construites dans les années 1950 et donc relativement jeunes.

Le tableau 4-12 présente les proportions de sols selon les différentes régions. Pour le premier regroupement, les proportions expliquent un taux moyen à élevé de fuites dans trois des régions. Les proportions de sols de la région de Villeray/St-Michel cadrent plus ou moins avec celles provoquant beaucoup de fuites. Seul le sol tourbe est en proportion pouvant provoquer des fuites. Les autres proportions tendent à réduire les fuites. Le second regroupement est aussi explicable dans 3 des régions, alors que la région de Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce ne cadre pas au niveau du sol par sa forte proportion de sable.

Tableau 4-12 Résumé des proportions de conduites selon la région et le type de sol.

Région	Argile		Roc		Sable		Till		Tourbe	
	(km)	(%)	(km)	(%)	(km)	(%)	(km)	(%)	(km)	(%)
Ahuntsic	25	8	25	8	107	35	141	46	11	4
Villeray	55	25	26	12	36	16	92	41	13	6
Rosemont	51	23	80	36	71	32	22	10	1	0
Mercier	159	56	62	22	15	5	46	16	4	1
Plateau	100	49	27	13	50	25	26	13	0	0
Ville-Marie	36	22	13	8	55	34	52	32	6	4
CDN/NDG	103	29	35	10	144	40	79	22	0	0
Sud-Ouest	44	20	17	7	118	53	35	15	12	5
RDP/PAT	128	33	57	15	48	12	135	35	19	5
Total	700	29	342	14	646	27	627	26	66	3

La région de Rosemont/Petite-Patrie obtient un taux de fuite et de bris très faible. Dans les caractéristiques du sol de cette région, on remarque que 35% de la région est bâtie sur du roc, matériau obtenant de faibles taux de fuite et de faibles taux de bris. Les taux très faibles de cette région pourraient donc s'expliquer en partie par cette proportion 2,5 fois plus élevée que la moyenne.

Comme le démontre le tableau 4-13, la région du Sud-Ouest présente une répartition de sol qui favorise l'apparition de fuites. Cette région a effectivement un taux de fuite parmi les plus élevés, soit 27 fuites/100km-an.

Tableau 4-13 Résumé des écarts à la moyenne du taux de fuite de la région du Sud-Ouest en fonction du sol.

Influence	Sol	Écart à la répartition moyenne des sols (+/- 20%)
Moins de fuites	Argile	-
	Roc	-
Moyenne	Till	-
Plus de fuites	Sable	+
	Tourbe	+

De la même façon, la répartition des sols des régions de Mercier/Hochelaga/Maisonneuve et de Ville-Marie correspond bien aux taux de fuite faibles et élevés observés respectivement dans ces deux régions.

Il apparaît clair que le type de sol influence les taux de fuite et de bris des régions.

d) Bris et fuites sur les mêmes conduites

La dernière analyse des fuites vise à établir comment, tronçon par tronçon, les fuites viennent s'ajouter aux bris.

La figure 4-5 illustre la répartition des tronçons avec ou sans fuites et bris de conduites. Il faut noter que les bris compilés ont été observés en 1993 et 1994. Le tableau 4-14 résume les proportions de chacune des catégories.

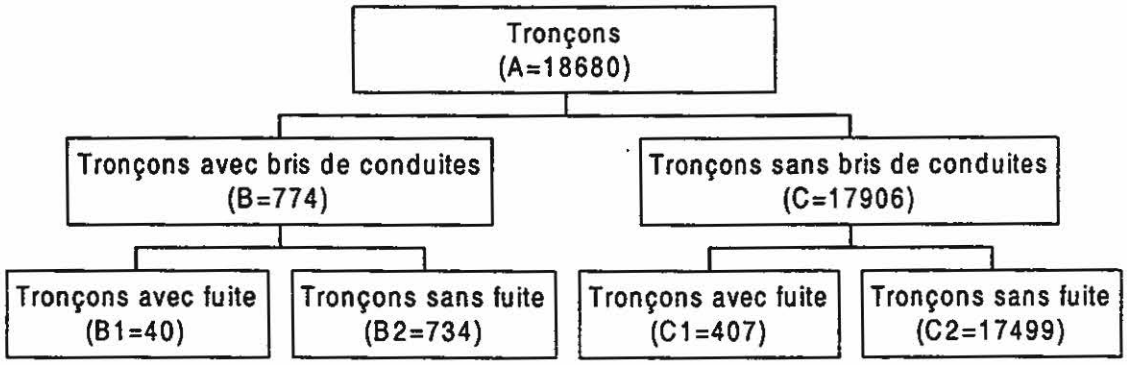


Figure 4-5 Répartition des tronçons avec et sans fuites et bris de conduites.

D'après ces chiffres, 9% des fuites se retrouvent sur des conduites ayant eu au moins un bris dans les deux dernières années. Ce pourcentage peut sembler faible mais seulement 4,1% des tronçons étudiés avait déjà eu au moins un bris dans les deux dernières années.

Tableau 4-14 Proportion de tronçons avec et sans fuites.

Tronçons	Tronçons avec fuites (%)	Tronçons sans fuite (%)
Tronçons avec bris	5,2	94,8
Tronçons sans bris	2,3	97,7

On peut ainsi conclure qu'il y a 2,3 fois plus de fuites sur les conduites qui ont déjà subit un bris. La répartition des fuites n'est donc pas aléatoire.

e) Conclusion sur l'analyse des résultats de la campagne 1995-1996

En général, on peut conclure qu'il y a un lien entre le taux de fuite et le type de sol. Les sols où les taux sont les plus élevés sont la tourbe et le sable contrairement à l'argile et au till où les taux sont plus bas.

Lorsque l'on regarde les taux de fuite par région, des regroupements peuvent être faits. Seule la région de Rosemont/Petite-Patrie ne peut être rattachée à d'autre. Dans 6 des 8 autres régions, le taux de fuite peut être expliqué par des proportions de sol influençant ou non les fuites. Les régions de Villeray/St-Michel et de Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce sont les deux régions où le sol ne correspond pas au regroupement selon le taux de fuite.

Les fuites sont plus présentes dans le sable et la tourbe, mais en plus, elles affectent les conduites ayant déjà eu un bris. Lorsque l'on ne tient compte que des bris pour identifier les conduites à remplacer, le nombre de conduites est sous estimé car certaines atteindraient le taux critique si les fuites étaient aussi prises en compte.

La campagne 1995-1996, malgré ses limites, a permis de détecter 460 fuites c'est à dire un nombre comparable au nombre de bris réparés annuellement. Par ailleurs, il est fort probable qu'une campagne menée dans de meilleures conditions aurait conduit à identifier un plus grand nombre de fuites.

4.3.2 Débits moyens distribués

Le débit per capita 1995 pour l'ensemble du territoire desservi est très élevé : 1 149 L/j-pers. La ville de Montréal vend de l'eau a des municipalités clientes. Le coût de l'eau est basé sur le volume, mesuré par des compteurs, ou sur une estimation de la demande. Le tableau 4-15 présente les débits per capita des différentes municipalités desservies par la ville de Montréal pour 1995.

Tableau 4-15 Débits distribués aux municipalités clientes de la ville de Montréal.

Municipalités	Mesuré : m Calculé : c	Q moyen (m^3/j)	Q per capita (L/j-pers)
Montréal	c	1 328 160	1 289
Outremont	c	19 289	853
Westmount	c	17 498	853
Saint-Pierre	c	4 297	853
Montréal-Est	m	17 256	4 523
Côte-Saint-Luc	m	22 310	722
Saint-Léonard	m	54 341	734
Anjou	m	37 623	998
Montréal-Nord	m	64 304	742
Saint-Laurent	m	107 008	1 459
Hampstead	m	5 068	691
Montréal-Ouest	m	3 258	621
Mont-Royal	m	18 713	1 014
Verdun	m	36 327	585
LaSalle	m	35 013	690
Charlemagne	m	2 553	400

En première analyse, on peut certainement rattacher les 3 plus hautes valeurs (Montréal-Est, Saint-Laurent et Montréal) à la présence d'industries ou autres usagers importants non-résidentiels. Notons par ailleurs que d'après la CUM, Montréal-Est et Saint-Laurent ont des compteurs sur tous ses usagers.

Nous avons tenté de rassembler rapidement de l'information sur les gros usagers non-résidentiels :

- les 44 plus grosses industries (plus de 200 000 m^3/an de demande) de la CUM déversent 127 000 m^3/an. Par contre les plus gros usagers sont souvent situés en bordure du fleuve et du

canal Lachine et y prélèvent leur eau de refroidissement plutôt qu'au réseau d'aqueduc (sources Luc Lefebvre et Daniel Bernier, CUM);

- selon le Service des finances de la Ville. le relevé des 2 000 compteurs actifs a permis de tarifer 11 000 000 m^3/an (30 000 m^3/j). Ce chiffre constitue l'excédent de la demande par rapport à la valeur locative. (source JF Leclerc, ville de Montréal).

La CUM commence à accumuler de l'information sur les autres types d'usagers (institutions, commerces, etc.)

L'utilisation de l'eau à Montréal pour le nettoyage des rues représenterait environ 1L/j-pers ; les parcs seraient également des usagers importants [AUBÉ].

Nous n'avons donc pas d'information qui permettrait de confirmer le rôle important des industries dans le débit per capita de la Ville. L'utilisation des relevés de compteurs permettrait peut-être de le préciser.

Le réseau de distribution de la ville de Montréal se divise en 6 zones en fonction de l'élévation :

- Zone 1 : élévation < 45 m située le long du St-Laurent;
- Zone 2 : élévation > 30 et <85 m; inclus la partie centrale de l'île;
- Zone 3 : élévation > 85 et <115 m entourant le Mont Royal;
- Zone 4 : élévation > 115 et < 170 m située sur le Mont Royal;
- Zone 5 : élévation > 170 m sur le Mont Royal;
- Zone 6 : élévation < 45 m située le long de la rivière Des-Prairies.

La figure suivante présente la délimitation de ces régions et le tableau 4-16 présente les débits moyens et per capita pour l'année 1995 de ces 6 zones.

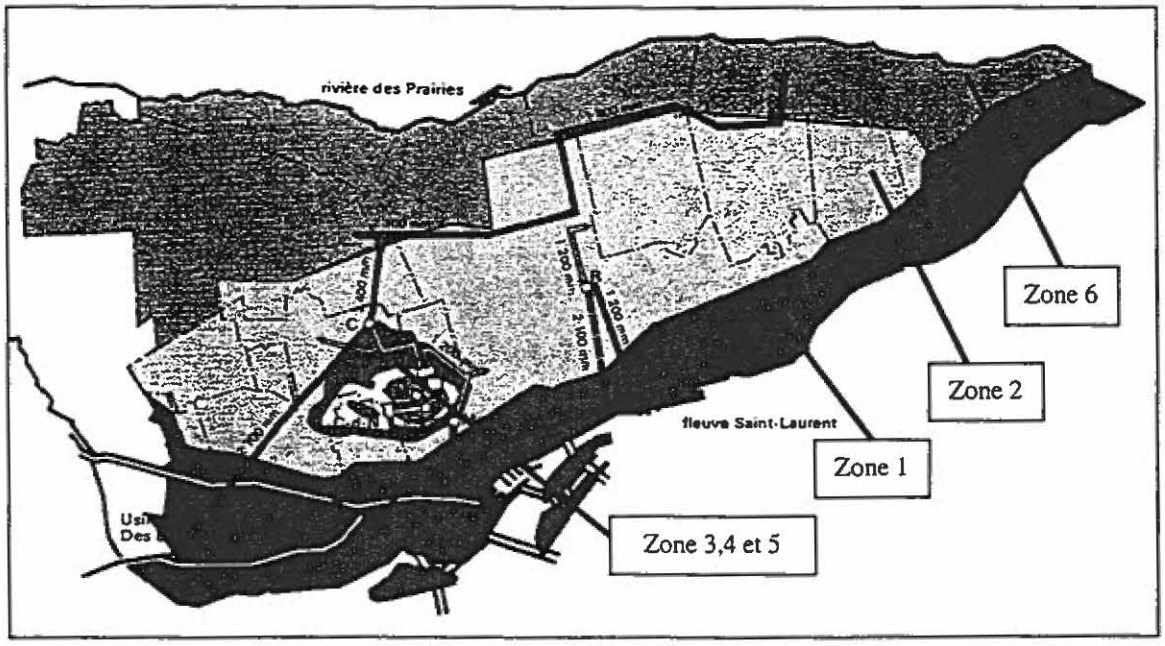


Figure 4-6 Délimitation des zones de distribution d'eau

Tableau 4-16 Débit moyen par zone de distribution pour 1995

Zone	Q moyen 1995 m^3/j	Population 1986	Q per capita L/j-pers
Zone 1	609 700	415 535	1 470
Zone 2	789 000	731 409	1 079
Zone 3	61 000	57 606	1 053
Zone 4	13 100	7 681	1 706
Zone 5	2 550	1 092	2 334
Zone 6	295 700	293 639	1 007

Les débits per capita restent élevés pour toutes les zones, même celles peu industrialisés. Il est à noter que nous avons utilisé les données de population par zone de 1986 plutôt que celles de 1995, car les populations n'étaient disponibles par zone de distribution que pour 1986.

Les 6 zones ont des débits per capita supérieurs à 1 000 L/j-pers :

- les 2 valeurs plus élevées se retrouvent dans les zones 4 et 5, soit les plus petites. Cependant, ces zones comprennent une proportion importante d'usagers particuliers (institutions, bâtiments fédéraux et municipaux, commerces);
- la zone 1 a le troisième plus important débit per capita; si pour cette zone, on tient compte uniquement de la ville de Montréal, qui est compte 296 388 habitants, le débit per capita est de 1 741 L/j-pers. Le débit pour la ville de Montréal est plus élevé que celui de l'ensemble de la zone de distribution. Cette zone comprend le centre ville et les industries en bordure du fleuve;
- les valeurs pour les zones 2, 3 et 6 sont moins élevées mais restent quand même au-dessus des 1000 L/j-pers.

4.3.3 Débits de nuit distribués

4.3.3. Les débits minimums

4.3.3.1.1 Débits minimums pour l'ensemble du territoire

En première analyse, on retient les valeurs journalières minimums pour les mois dont la moyenne est déjà minimum (avril et décembre de chaque année). Ces résultats sont présentés au tableau 4-17.

Tableau 4-17 Débits journaliers minimums de l'ensemble du territoire desservi.

Date	Q jour min. MGl/j	Q moyen du mois MGl/j	Q moyen annuel MGl/j	(Q jour min. / Q moyen an)
Avril 94	342	379	392	0,87
Décembre 94	338	368	idem	0,86
Avril 95	336	361	390	0,87
Décembre 95	340	372	idem	0,87
Avril 96	347	364	382	0,91
Décembre 96	324	352	idem	0,85

Nous disposons des valeurs minimales sur 2 heures pour chacune des zones prises individuellement, mais pas de l'ensemble des 6 zones. Le minimum total distribué sera donc calculé en additionnant les minimums de chacune des zones. Pour les fins de l'analyse, nous supposerons donc que les minimums de chacune des zones sont simultanés.

Pour éviter les valeurs aberrantes, nous prenons les jours dont le débit total est minimum pour identifier les débits minimums (sur 2 heures). Nous utiliserons les valeurs fournies (sur 2 heures) mais il faut se souvenir que la majorité des villes (et la littérature) se basent sur des valeurs sur 1 heure.

Les quatre tableaux suivants présentent les débits journaliers de périodes où la demande est minimale pour l'ensemble de la ville. Ils permettent d'évaluer un débit de nuit minimum pour la ville de Montréal.

Tableau 4-18 Débits journaliers des journées minimales du mois d'avril 1995.

Avril 95	Q journalier MGl/j	Q 2h minimum MGl/j
9 avril	350	269
16 avril	336	269
23 avril	346	269
30 avril	345	269

On notera qu'il s'agit systématiquement de dimanche et que le débit minimum retenu est donc de 269 MGl/j. Le rapport au débit moyen annuel s'établit à 0,69.

Tableau 4-19 Débits journaliers des journées minimales du mois de décembre 1995.

Décembre 95	Q journalier MGl/j	Q 2h minimum MGl/j
24 déc.	355	287
25 déc.	340	288
26 déc.	351	280

Le débit minimum retenu est donc 280 MGl/j. Le rapport au débit moyen annuel s'établit à 0,72.

Tableau 4-20 Débits journaliers des journées minimales du mois d'avril 1996.

Avril 96	Q journalier MGl/j	Q 2h minimum MGl/j
14 avril	347	265
21 avril	347	267
28 avril	347	269

Ici aussi, on notera qu'il s'agit systématiquement de dimanche. Le débit minimum retenu est donc 265 MGl/j. Le rapport au débit moyen annuel s'établit à 0,69.

Tableau 4-21 Débits journalier des journées minimales du mois de décembre 1996.

Décembre 96	Q journalier MGl/j	Q 2h minimum MGl/j
24 déc.	340	277
25 déc.	324	272
26 déc.	327	261

Le débit minimum retenu est donc 261 MGl/j. Le rapport au débit moyen annuel s'établit à 0,68.

Les 4 valeurs sont semblables et cohérentes; le coefficient de débit minimum s'établit aux environs de 0.69. Ainsi, le débit de nuit minimal s'établit à 766 L/j-pers et il est obtenu au mois de décembre 1996.

À titre comparatif, le coefficient de débit minimum défini de la même façon (mais pour 1h) est inférieur à 0,5 à Laval et s'établit à 0,42 ou 264 L/j-pers pour la ville de Sainte-Foy (soit près de 3 fois moins). Cette valeur élevée de débit de nuit peut s'expliquer typiquement par la présence d'usagers ayant un débit continu, un débit de nuit élevé ou par des fuites. De la même façon, le débit minimum résidentiel est de l'ordre de 40 L/j-pers. [AQTE]

4.3.3.1.2 Débits minimums par zone de distribution

Si l'on regarde les débits minimum selon chaque zone de distribution, les débits sont toujours relativement élevés. Le tableau 4-22 présente, pour l'année 1996, la moyenne des débits selon la zone de distribution.

Tableau 4-22 Débits minimums par zone de distribution pour l'année 1996.

Année 96	Q2h minimum (MGl/j)	Q moyen (MGl/j)	Q2h min / Q moy	Q2h min. per capita (L/j-pers)	Q moyen per capita (L/j-pers)
Zone 1	109,5	134,9	0,81	1199	1478
Zone 2	140,1	168,7	0,83	872	1051
Zone 3	9,39	13,26	0,71	742	1047
Zone 4	2,4	3,05	0,79	1422	1807
Zone 5	0,39	0,56	0,70	1625	2333
Zone 6	42,8	62,2	0,69	663	963

On rappelle que les débits de nuit résidentiels sont de l'ordre de 15% du débit moyen et que cette valeur a déjà été confirmée au niveau de l'ensemble d'une zone à dominance résidentielle à Sainte-Foy.

On en conclut que:

- toutes les zones ont des coefficients plus élevés que ceux de la littérature, surtout les zones 3, 4 et 5;
- les zones 4 et 5 ont des débits per capita de nuit très élevés, les zones 1, 2 et 3 suivent alors que la 6 est la plus basse.

Les valeurs moyennes élevées pourraient s'expliquer par les valeurs de nuit élevées.

Les tableaux suivant présentent les débits pour deux journées minimales de 1996.

Tableau 4-23 Débit minimal pour une journée minimale d'avril 1996.

Jour min. : 16 avril 96	Q2h min., jour min. MGl/j	Q moyen annuel MGl/j	(Q2h min. / Q moyen)
Zone 1	100,2	134,9	0,74
Zone 2	117,96	168,7	0,70
Zone 3	7,32	13,26	0,55
Zone 4	2,28	3,05	0,75
Zone 5	0,36	0,56	0,64
Zone 6	36,72	62,2	0,59

Tableau 4-24 Débit minimal pour une journée minimale de décembre 1996.

Jour min. : 26 déc. 96	Q2h min., jour min. MGl/j	Q moyen annuel MGl/j	(Q2h min. / Q moyen)
Zone 1	86,52	134,9	0,64
Zone 2	133,68	168,7	0,79
Zone 3	9,864	13,26	0,74
Zone 4	2,22	3,05	0,73
Zone 5	0,336	0,56	0,60
Zone 6	28,2	62,2	0,45

Les données à ces 2 dates sont évidemment plus basses que le débit moyen annuel. On notera que, pour la zone 6, le débit du 26 décembre est significativement plus bas qu'en avril. Si le territoire desservi n'a pas varié, cette zone présentait en décembre 96 un coefficient de débit de nuit s'approchant des valeurs normales. Une comparaison entre les débits minimums de décembre 1995 et 1996 fait ressortir une réduction de 30 % en décembre 1996. Ceci pourrait être rattaché aux réparations des fuites détectées par la campagne.

Cette approche nous amène donc à confirmer que les débits de nuit sont très élevés et qu'ils expliquent une partie importante des valeurs moyennes élevées.

4.3.3.1.3 Débit de nuit des municipalités clientes

Pour l'ensemble de l'eau distribuée par la ville de Montréal, le débit journalier moyen pour l'année 1996 était de 1 739 390 m^3/j, soit de 1 132 L/j-pers. Ce débit per capita est extrêmement élevée. À titre indicatif, il est intéressant de déterminer l'influence des villes clientes.

Pour une journée minimum et une journée moyenne de 1996, les débits des municipalités clientes ont été calculés pour les 2 heures minimum et pour la moyenne de la journée. Le tableau 4-25 les débits journaliers et per capita des municipalités clientes pour le jour minimum et le jour moyen.

Tableau 4-25 Débits journaliers des municipalités clientes pour le jour moyen et minimum

Municipalités	Jour minimum				Jour moyen			
	Q de nuit min.		Q jouralier moyen		Q de nuit min.		Q jouralier moyen	
	m^3/j	L/j-pers	m^3/j	L/j-pers	m^3/j	L/j-pers	m^3/j	L/j-pers
Charlemagne	1702	267	2808	440	981.9	154	2023	317
Montréal-Est	3014	790	6278	1646	19269	5051	22240	5830
Verdun	17599	283	32805	528	25794	415	34162	550
Lasalle	19900	392	24836	489	17121	337	27604	544
Montréal-Ouest	2251	429	3144	599	2348	447	3168	604
Côte-St-Luc	14728	477	20571	666	14783	479	21173	685
St-Léonard	33712	455	47721	644	37313	504	51930	701
Anjou	25818	685	32359	858	27264	723	37646	999
St-Laurent	67202	916	95049	1296	73316	999	95573	1303
Montréal-Nord	45222	522	61705	712	42308	488	61504	710
Total clientes	231148	536	327276	759	260497.9	604	357023	828
Montréal	972788	880	1250333	1131	1075506.1	973	1366146	1236
Montréal + clientes	1203936	784	1577609	1027	1336004	870	1723169	1122

Montréal inclus : Montréal, Hampstead, Ville Mont-Royal, Outremont, Westmount et Ville St-Pierre.

Comme elles sont mesurées par des capteurs dépourvus d'enregistreur, les demandes de Ville Mont-Royal et de Hampstead ont été calculées de la même façon que celle d'Outremont, de Westmount et de Ville St-Pierre.

On peut remarquer que le débit per capita des municipalités clientes est 1,5 fois inférieur à celui de la ville de Montréal. Malgré son débit per capita très élevé, Montréal-Est influence peu puisqu'elle ne représente que 7 % du débit journalier des municipalités clientes. Les débits des municipalités de St-Laurent et de Anjou sont aussi très élevés.

Le débit per capita des municipalités clientes réduit celui de l'ensemble de la ville de Montréal (incluant Hampstead, Ville Mont-Royal, Outremont, Westmount et Ville St-Pierre). On remarque qu'une fois le débit des municipalités clientes soustrait, le débit per capita de la ville de Montréal est plus élevé que celui de l'ensemble des territoires desservis. Au total, le volume d'eau vendu à ces municipalités représente 20% de l'eau produite.

Le tableau 4-26 présente le débit du jour minimum et du jour moyen pour la ville de Montréal et ses municipalités clientes selon les zones de distribution. Lorsqu'une municipalité cliente est desservie par deux zones de distribution, une population par zone a été estimée en fonction des débits mesurés per capita selon la zone. Les municipalités clientes munies de compteurs ne sont présentes que dans 3 zones de distribution, les zones 1, 2 et 6.

Tableau 4-26 Débits des territoires desservis selon la zone de distribution

Zone de distribution	Jour minimum				Jour moyen			
	Nuit		Jour		Nuit		Jour	
Zone 1	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j
Municipalités clientes	42066	342	66487	541	62204	506	84674	689
Montréal *	413433	1413	487295	1665	411297	1405	524704	1793
Montréal + clientes	455499	1097	553782	1333	473501	1139	609378	1466
Zone 2	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j
Municipalités clientes	141120	648	171022	786	150703	692	187307	861
Montréal *	395114	769	520182	1013	477722	930	593179	1155
Montréal + clientes	536234	733	691204	945	628425	859	780486	1067
Zone 3	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j
Municipalités clientes	0	0	0	0	0	0	0	0
Montréal *	33276	578	53414	927	39331	683	58483	1015
Montréal + clientes	33276	578	53414	927	39331	683	58483	1015
Zone 4	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j
Municipalités clientes	0	0	0	0	0	0	0	0
Montréal *	10365	1349	12819	1669	10037	1307	14265	1857
Montréal + clientes	10365	1349	12819	1669	10037	1307	14265	1857
Zone 5	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j
Municipalités clientes	0	0	0	0	0	0	0	0
Montréal *	1637	1499	1864	1707	1964	1799	2714	2485
Montréal + clientes	1637	1499	1864	1707	1964	1799	2714	2485
Zone 6	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j	m^3/j	l/pers/j
Municipalités clientes	47963	521	89769	975	47590	517	85043	924
Montréal *	118962	590	174757	867	135155	670	172800	857
Montréal + clientes	166925	568	264526	901	182745	622	257843	878

* : Montréal inclut Montréal, Hampstead, Ville Mont-Royal, Outremont, Westmount et Ville St-Pierre.

Les municipalités clientes des différentes zones sont :

- Zone 1 : Charlemagne, Montréal-Est, Verdun, Lasalle;
- Zone 2 : Montréal-Ouest, Côte-St-Luc, St-Léonard, Anjou, St-Laurent;
- Zone 6 : Montréal-Est, Montréal-Nord, Anjou, St-Laurent.

Parmi ces trois zones, la zone 1 est celle qui présente les débits les plus élevés lorsque l'on soustrait la part des municipalités clientes. Pour les deux jours analysés, le ratio $Q_{nuit/jour}$ est approximativement 0,63 et 0,8 pour les municipalités clientes et la ville de Montréal.

Pour les zones 2 et 6, il y a peu d'écart entre les débits per capita des municipalités clientes et ceux de la ville de Montréal. Le débit per capita de la zone 2 pour les municipalités clientes et pour la ville de Montréal reste élevé. Après analyse des débits des municipalités par zone, on constate que Ville St-Laurent compte pour près de la moitié du débit des municipalités clientes de cette zone et que le débit per capita de cette municipalité est élevé. Ceci influence donc le débit per capita de la zone 2 pour les municipalités clientes. Si l'on enlève Ville St-Laurent, le débit per capita est réduit en moyenne de 150 L/j-pers. Le ratio $Q_{nuit/jour}$ est approximativement 0,8 pour les municipalités clientes et la ville de Montréal. Ce ratio est très élevé pour les deux regroupements.

Pour les municipalités clientes de la zone 6, on remarque que le débit du jour minimum est supérieur à celui du jour moyen de la semaine. Une analyse plus complète serait nécessaire. Au niveau du débit journalier de la zone 6, les municipalités clientes ont un per capita plus élevé que la ville de Montréal. Le ratio $Q_{nuit/jour}$ est approximativement 0,53 et de 0,78 pour les municipalités clientes et la ville de Montréal.

4.3.3.1.4 Évolution des débits

Nous avons conduit une analyse des débits de nuit sur les données de débit de distribution depuis 1966. Les résultats démontrent que le débit de nuit minimum annuel en 1966 était de l'ordre de 314 L/j-pers, ce qui constitue un chiffre relativement comparable aux références déjà citées. Or, de 1966 à 1996, le débit de nuit minimum per capita a plus que doublé pour atteindre 766 L/j-pers. Le tableau 4-27 présente le ratio du Qmin/Qmoy. Les données utilisées pour ce tableau sont les débits minimums (de nuit) pour les jours minimums, moyens et maximums, ainsi que le débit journalier moyen évalué selon la population des différentes années, de même que la production totale annuelle. Au niveau du ratio Qmin/Qmax, on note que pour les jours minimums et maximums, ce ratio a augmenté sensiblement tandis qu'il n'a que légèrement augmenté pour les jours moyens Le tableau 4-28 donne les écarts entre les débits minimums des années 1966, 1984 et 1996. 80% de l'augmentation du débit journalier moyen est explicable par l'augmentation du débit de nuit. Depuis 1966, le débit de nuit a plus que doublé, ce qui confirme la possibilité que les fuites jouent un rôle majeur dans ce débit. Le tableau 4-29 présente les débits minimums per capita et l'écart entre ces minimums et les débits moyens annuels. La figure 4-7 permet de visualiser l'évolution des débits de nuit minimums et les débits moyen journaliers annuels.

Tableau 4-27 Comparaison des ratio Qmin/Qmoy pour les jours minimum, moyens et Maximums

Jour minimun			
Jour de mesure	Q min (2h) MGl/j	Q moyen annuel (MGl/j)	Qmin/Qmoyen
22-05-66	136	235	0.58
01-12-73	189	308	0.61
23-05-76	235	348	0.68
01-01-80	242	344	0.70
22-04-84	249	371	0.67
24-04-88	272	396	0.69
25-12-92	244	389	0.63
14-04-96	265	391	0.68
Jour maximun			
Jour de mesure	Q min (2h) MGl/j	Q moyen annuel (MGl/j)	Qmin/Qmoyen
27-06-66	168	235	0.71
23-06-76	287	348	0.82
25-06-80	258	344	0.75
14-08-84	323	371	0.87
12-08-88	364	396	0.92
26-08-92	344	389	0.88
05-09-96	370	391	0.95
Jour moyen			
Jour de mesure	Q min (2h) MGl/j	Q moyen annuel (MGl/j)	Qmin/Qmoyen
15-10-66	171	235	0.73
18-09-76	263	348	0.76
23-10-80	256	344	0.74
26-10-84	272	371	0.73
21-10-88	302	396	0.76
05-10-92	284	389	0.73
15-10-96	294	391	0.75

Tableau 4-28 **Écart entre les débits moyens et les débits minimums pour les années 1966, 1984 et 1996.**

Années d'étude	Écart entre les Q min (MGI)	Écart entre les Q moy. (MGI)	% d'écart entre min et moy.
1966 et 1984	113	136	83
1966 et 1996	129	156	83
1984 et 1996	16	20	80

Tableau 4-29 **Évolution de l'écart entre le débit de nuit minimal et le jour moyen annuel.**

Année	Qmin. du jour min. l/pers/jour minimun (A)	Q jour. moy. annuel l/pers/jour moyen (B)	Écart entre (min et moy) l/pers/jour (B-A)
1966	314	581	267
1973	436	743	307
1976	595	882	287
1980	698	965	267
1984	745	1113	367
1988	817	1190	373
1992	721	1151	430
1996	781	1149	368

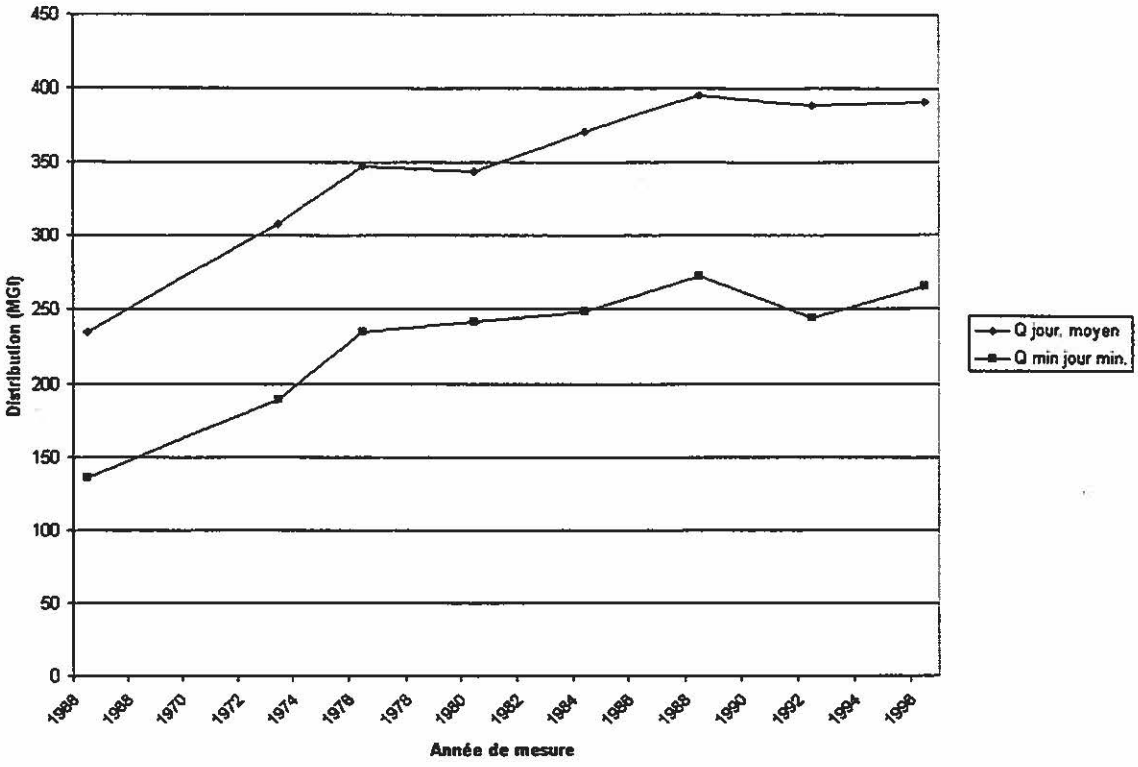


Figure 4-7 Évolution du débit minimum du jour minimum et du débit journalier moyen de 1966 à 1996

Au niveau de la population, plusieurs paramètres sont à noter:

- la population desservie croît jusqu'en 1970 puis décroît jusqu'en 1981-1982 et reste stable par la suite;
- la production d'eau croît jusqu'en 1991 puis se stabilise;
- le nombre de personnes par logement décroît .

Le déplacement de la population du centre-ville vers la périphérie, et du fait, la hausse du nombre de résidences unifamiliales pourraient expliquer une partie de l'augmentation du débit per capita dans la période allant de 1960 à 1980.

Le nombre d'usagers industriels a presque doublé entre 1967 et 1991, ce qui pourrait laisser présager une demande industrielle accrue. D'un autre coté, on relève habituellement une baisse de la demande industrielle en eau avec la baisse des activités économiques que connaît Montréal. [HYDROPLUS]

En conclusion, nous retiendrons que le débit de nuit minimum de 1996 s'établissait pour l'ensemble du territoire à 766 L/j-pers, ce qui se compare à des valeurs de l'ordre de 250 à 260 L/j-pers pour des agglomérations comme Laval et Ste-Foy. Dans les deux cas, le débit de nuit comprend déjà environ 120 L/j-pers de fuites. C'est donc dire que, pour l'ensemble du territoire, plus de 600 L/j-pers peuvent être questionnés. Ce chiffre est encore plus élevé pour la seule ville de Montréal. On comprendra que l'on retrouve à Montréal une proportion plus élevée qu'en banlieue d'usagers susceptibles d'avoir une demande nocturne importante. Cependant, une différence de l'ordre de celle observée (600 L/j-pers) nous conduit à recommander très fortement à la ville d'implanter des mesures visant spécifiquement les fuites.

On notera par ailleurs que des villes comme Laval et Ste-Foy ont connu des pourcentages de fuites de l'ordre de 40 à 50% à la fin des années 70 [AQTE]. Ces mêmes villes ont implanté des programmes rigoureux qui ont ramené ce pourcentage à 20% en 1995. La ville de Boston a également connu beaucoup de succès dans ce domaine.

4.3.3.2 Débit de nuit et de jour dans des secteurs de zones de distribution

Afin de vérifier si le problème des débits de nuit est généralisé ou local, la ville de Montréal a entrepris des mesures de débits de nuit dans certaines parties des zones de distribution 1 et 2 en juin et juillet 1997. Les débits de nuit et de jours de ces parties de zones de distribution sont comparés au débit de nuit et de jour de l'ensemble de la zone pour la même période de mesure.

Les débits entrant dans les zones sont mesurés par des tubes de Pitot installés sur les conduites principales alimentant les parties de zones. La zone alimentée n'est pas clairement définie en raison du réseau de conduites secondaires alimentant une petite partie de la zone. Aucune mesure de débit n'a été effectuée sur le réseau secondaire. La ville assume que ce débit non mesuré peut être négligé.

Le débit per capita est obtenu en divisant le débit par la population approximative. Cette population a été obtenu en additionnant les carrés administratifs inclus sur le territoire de la partie de zone. Le document "Profil des secteurs de recensement de la ville de Montréal" regroupent les informations relatives à la population desservie selon les carrés administratifs. [RECENSEMENT]

4.3.3.2.1 Parties de la zone de distribution 1

La zone 1, longeant le fleuve St-Laurent, est caractérisée par un débit per capita très élevé de plus de 1000 L/j-pers. La zone 1 a été mesurée en deux parties. La première, nommée 1A, approvisionne en eau potable les conduites situées à l'est de la rue Davidson. Des tubes de Pitot ont été placés par la ville de Montréal dans les chambres de vannes de deux conduites principales, aux intersections Davidson/Sherbrooke (30 po) et Valois/Adam (48 po). Une autre conduite principale dessert une petite partie du territoire mais elle a été négligée. Une partie des régions de Mercier/Hochelaga/Maisonneuve et de Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles sont desservies par ces deux conduites. Les municipalités de Montréal-Est et de Charlemagne sont alimentées par ces mêmes conduites. Les débits totaux obtenus en deux points de mesure sont présentés au tableau 4-30 pour deux périodes de l'année 1997.

Tableau 4-30 Débits mesurés pour la zone 1 et la partie de zone 1A.

Lieu	20 au 27 juin 1997		27 juin au 4 juillet 1997	
	Q de nuit (L/j-pers)	Q moyen (L/j-pers)	Q de nuit (L/j-pers)	Q moyen (L/j-pers)
Partie de zone 1A population: 145 449	883	1129	878	1190
Zone 1 population: 415 535	1226	1530	1343	1636

Les débits per capita de jour comme de nuit sont élevés pour la partie 1A comme pour l'ensemble de la zone 1. Malgré un ratio moyen de 0,7 obtenu en divisant le débit de la partie 1A par le débit de la zone, le débit de nuit de l'ordre de 900 L/j-pers pour la partie 1A reste élevé.

La deuxième partie de zone, nommée 1B, approvisionne en eau potable les conduites situées à l'est du boulevard Viau. Des tubes de Pitot ont été placés dans les chambres de vannes de deux conduites principales, aux intersections Viau/Sherbrooke (30 po) et Adam/Viau (48 po). Des parties des régions de Mercier/Hochelaga/Maisonneuve et de Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles sont desservies par ces deux conduites. Les municipalités de Montréal-Est et de Charlemagne sont aussi alimentées par l'eau provenant de ces conduites. Les débits totaux obtenus en deux points de mesure sont présentés au tableau 4-31 pour deux périodes de l'année 1997.

Tableau 4-31 Débits mesurés pour la zone 1 et la partie de zone 1B.

Lieu	4 au 11 juin 1997		11 au 20 juin 1997	
	Q de nuit (L/j-pers)	Q moyen (L/j-pers)	Q de nuit (L/j-pers)	Q moyen (L/j-pers)
Partie de zone 1B population: 115286	814	1223	781	1122
Zone 1 population: 415 535	1147	1543	1210	1540

Comme pour la zone 1A, les débits per capita de jour comme de nuit sont élevés pour la partie 1B ainsi que pour l'ensemble de la zone 1. Malgré un ratio moyen de 0,73 obtenu en divisant le débit de la partie de zone par le débit de la zone, le débit de nuit de l'ordre de 800 L/j-pers pour la partie 1B reste élevé.

Un compteur mesure déjà le débit sortant de Montréal-Est pour une zone d'environ 50 000 habitants. L'exercice a été réalisé pour cette partie de zone sur les mêmes périodes que pour les parties 1A et 1B. Les résultats sont présentés au tableau 4-32.

Tableau 4-32 Résumé des débits obtenus pour la zone 1et la partie de zone située à l'est de Montréal-Est (1C).

Lieu	Q nuit (m^3/j)	Q nuit (l/pers/j)	Q moy (m^3/j)	Q moy (l/pers/j)
Partie de zone 1C population: 53 035	22003	415	33005	622
Zone 1 population: 415 535	476619	1147	641171	1543

Les résultats de cette partie de zone sont encourageant, le débit étant environ 2 fois moins élevés que les zones 1A et 1B. Il semblerait que le problème de débit de nuit ne soit plus aussi important lorsque Montréal-Est est exclue de la mesure. Un débit de nuit de l'ordre de 400 L/j-pers est toujours élevé lorsqu'on le compare à celui de d'autres villes. Ici, dans cette partie de zone, le débit de nuit ne peut être attribué à des industries. Le débit de nuit de la partie de zone 1C ne justifie pas de mesure particulière, car il est acceptable compte tenu des débits de l'ensemble de la ville de Montréal.

Recommandations pour la zone 1

Comme on l'a vu plus haut, il serait intéressant de découper la zone 1 en plusieurs parties pour ainsi obtenir l'évolution du débit per capita. Les parties de zone pourraient être découpées en fonction de la population. Les zones seraient découpées comme suit :

Population désirée	Localisation	Population réelle desservie
50 000	Secteur à l'est de Montréal-Est	53 035
100 000	Secteur à l'est du boulevard Viau	115 286
200 000	Secteur à l'est du boulevard St-Laurent	199 329
300 000	Secteur situé au centre ville	300 000
400 000	Totalité de la zone	415 535

La partie de zone de 50 000 habitants est facile à obtenir car elle est représentée par la population qui se situe à l'est de Montréal-Est. La zone de 200 000 habitants pourrait être obtenue en mesurant le débit de deux conduites principales. Des tubes de Pitot devraient être installés dans ces conduites.

La partie de zone de 300 000 habitants est plus difficile à mesurer en raison du très grand nombre de conduites principales à instrumenter. Toutefois, il serait possible de mesurer une partie de zone de 100 000 habitants située à l'ouest de la zone 1 et de soustraire le débit de cette partie de zone à celui de la zone totale, ce qui donnerait environ 300 000 habitants.

En comparant le débit d'une partie de zone à une autre, il serait possible d'isoler les parties plus problématiques et pour lesquelles des investigations plus poussées devraient être effectuées.

4.3.3.2.2 Partie de la zone de distribution 2

Les mesures sur la zone 2 n'ont été réalisées qu'en une seule partie de cette zone. Des tubes de Pitot ont été placés dans les chambres de vannes de deux conduites principales, aux intersections Isabelle/Décarie (30 po) et Côte-St-Luc/Marcil (30 po). La zone desservie par ces deux conduites est plus difficile à délimiter que celle de la zone 1. Une partie de la région de Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce est aussi desservie par ces deux conduites. Les municipalités de Côte-St-Luc, Hampstead, Montréal-Ouest et une partie de Ville St-Pierre sont alimentées par l'eau provenant de ces conduites. Les débits totaux obtenus en deux points de mesure sont présentés au tableau 4-33 pour deux périodes de l'année 1997.

Tableau 4-33 Résumé des débits obtenus pour la zone 2 et la partie de zone 2.

Lieu	7 au 20 mai 1997		20 au 28 mai 1997	
	Q de nuit (L/j-pers)	Q moyen (L/j-pers)	Q de nuit (L/j-pers)	Q moyen (L/j-pers)
Partie de zone 2 population: 99 623	472	654	499	656
Zone 2 population: 731 409	797	981	850	1024

Les débits de jour comme ceux de nuit ne sont pas très élevés pour cette partie de zone mais, pour l'ensemble de la zone 2, le débit per capita est très élevé. Un débit de nuit per capita de l'ordre de 500 L/j-pers est assez élevé même si le problème n'est pas aussi important que dans l'ensemble de la zone de distribution. Un écart de plus de 300 L/j-pers, soit 40 %, est présent entre le débit de la partie de zone et la zone totale.

Le débit per capita élevé de la zone 2 est en partie dû aux municipalités de Anjou et de Ville St-Laurent. Ici, seul le débit moyen peut être analysé car Ville St-Laurent remplit ses réservoirs la nuit, ce qui implique

que le débit de nuit de cette municipalité soit plus élevé que son débit moyen. Le débit moyen pour les semaines du 8 mai au 30 mai 1997 des municipalités clientes de la zone 2 est présenté au tableau 4-34.

Tableau 4-34 Débit moyen des municipalités clientes de la zone 2.

Municipalités clientes	Q nuit (l/pers/j)	Q jour (l/pers/j)
St-Laurent	-	1200
Anjou	700	877
St-Léonard	535	735
Côte-St-Luc *	470	665
Montréal-Ouest *	260	425
Total zone 2	825	1000

* Municipalités inclues dans la partie de zone 2A

En enlevant toutes les municipalités clientes de la zone 2, le débit per capita de la zone 2 devient encore plus élevé, soit de l'ordre de 1000 L/j-pers. Il est bien entendu que les débits des municipalités de St-Laurent et d'Anjou font augmenter le débit per capita mais le problème ne se limite pas seulement à ces municipalités. La ville de Montréal présente aussi de très hauts débits per capita.

4.3.3.2.3 Conclusion des mesures des parties de zone de distribution 1 et 2

En résumé, après avoir effectué des mesures de débit sur des parties des zones de distribution 1 et 2, on pour conclure que le problème des débits de nuit per capita semble généralisé dans la zone 1 (excepté à l'extrémité est) mais plus local dans la zone 2. Les débits de nuit de la zone 1 sont très élevés pour l'ensemble de la zone (1250 L/j-pers) et pour les deux parties de zone étudiées (850 L/j-pers). Le per capita des parties de zones est plus faible mais reste tout de même très élevé. Pour la zone de distribution 2, le débit de nuit de la partie de zone (500 L/j-pers) est plus faible et plus acceptable que celui de l'ensemble de la zone 2 (850 L/j-pers).

4.3.3.3 Analyse des résultats des campagnes d'isolation de secteurs

L'étude de plus petits secteurs permet de déterminer s'il est possible d'obtenir des résultats encore plus faibles. Dans le cadre de son programme systématique de détection des fuites, la ville a déjà mesuré des débits de secteurs plus petits à l'aide de tube de Pitot. Quatre de ces secteurs sont analysés ici afin de déterminer leur débit de nuit.

4.3.3.3.1 Méthodologie

Les données utilisées des rapports de mesure de débits sont essentiellement les hauteurs d'eau dans les tubes de Pitot et les aires des secteurs desservis. À partir des hauteurs d'eau, le débit était calculé par la formule des tubes de Pitot. Pour obtenir un débit per capita, la population a été estimée à partir des aires des secteurs, la référence utilisée étant le document " Profil des secteurs de recensement de la ville de Montréal".

Initialement, le débit de tout le secteur est mesuré. Ensuite, certaines conduites sont exclues du secteur. Un nouveau débit et une nouvelle aire sont obtenus. Des mesures sont effectuées jusqu'à ce que la hauteur d'eau dans le tube de Pitot soit négligeable (<1 cm). En procédant par élimination, on peut cerner les conduites ayant des débits élevés, dû à des fuites ou à de gros usagers nocturnes. Pour obtenir les débits

dits corrigés, il faut soustraire le débit anormal de ces conduites du débit mesuré. L'aire correspondante à ces conduites doit aussi être soustraite de l'aire du secteur.

Les débits mesurés et les débits corrigés sont présentés à la suite pour les trois secteurs analysés.

4.3.3.3.2 Résultats

Les résultats présentés pour chacun des secteurs sont les résumés par jour de mesure.

Secteur 93-5 Centre-Sud

La densité de population de ce secteur est de 5386 personnes /km^2. Les résultats du début et de la fin de chacune des journées de mesure sont présentés au tableau 4-35. Le débit mesuré et le débit normal sont tous deux indiqués.

Tableau 4-35 Résumé des mesures de débits du secteur 93-5

Date	h (cm)	Débit mesuré			Débit corrigé		
		Q (lecture) (m^3/j)	Aire (km^2)	Q (L/j-pers)	Q (m^3/j)	Aire (km^2)	Q (L/j-pers)
1er sept. 93	15	3233	0.56	1078	966	0.46	390
	11	2769	0.51	1012	908	0.43	394
2 sept. 93	11	2769	0.51	1012	908	0.43	394
	6	2045	0.46	824	908	0.42	400
3 sept. 93	6	2045	0.46	824	908	0.42	400
	5	1867	0.41	837	730	0.37	362
7 sept. 93	5	1867	0.41	837	730	0.37	362
	4	1670	0.36	859	730	0.34	403
8 sept. 93	4	1670	0.36	859	730	0.34	403
	2.5	1320	0.28	882	730	0.27	505
10 sept. 93	2.5	1320	0.28	882	730	0.27	505
	2	1181	0.27	818	590	0.27	409

Initialement, le débit mesuré est très élevé. La recherche de débits anormaux a permis de réduire singulièrement le débit per capita du secteur, soit de 1078 L/j-pers à 390 L/j-pers. On remarque donc qu'il est possible d'obtenir des débits acceptables lorsque les débits anormaux sont éliminés.

Secteur 90-9 Rivière-des-Prairies

La densité de population de ce secteur est de 5185 personnes /km^2. Les résultats du début et de la fin de chacune des journées de mesure sont présentés au tableau 4-36. Le débit mesuré et le débit corrigé sont tous deux indiqués.

Tableau 4-36 Résumé des mesures de débits du secteur 90-9.

Date	h (cm)	Débit mesuré			Débit corrigé		
		Q (lecture) (m^3/j)	Aire (km^2)	Q (L/j-pers)	Q (m^3/j)	Aire (km^2)	Q (L/j-pers)
19 oct. 90	4.5	1771	1.47	232	960	1.26	147
	2.5	1320	1.22	209	835	1.13	143
22 oct. 90	2.5	1181	1.22	187	835	1.13	143
	1	835	1.13	143	835	1.13	143

Initialement, le débit mesuré est très bas. La recherche des débits anormaux a permis de réduire légèrement le débit du secteur de 232 L/j-pers à 147 L/j-pers. Ce débit corrigé final est également très acceptable.

Secteur 92-4 Maisonneuve

La densité de population de ce secteur est de 7770 personnes /km^2. Les résultats du début et de la fin de chacune des journées de mesure sont présentés au tableau 4-37. Le débit mesuré et le débit corrigé sont tous deux indiqués.

Tableau 4-37 Résumé des mesures de débits du secteur 92-4.

Date	h (cm)	Débit mesuré			Débit corrigé		
		Q (lecture) (m^3/j)	Aire (km^2)	Q (L/j-pers)	Q (m^3/j)	Aire (km^2)	Q (L/j-pers)
19 août 92	14	3123	1.26	319	2119	0.98	278
	12.5	2951	1.18	322	1947	0.92	272
20 août 92	12.5	2951	1.18	322	1947	0.92	272
	12	2892	1.06	351	1887	0.8	304
21 août 92	12	2892	1.06	351	1887	0.8	304
	10.5	2705	0.92	378	1700	0.64	342
24 août 92	10.5	2705	0.92	378	1700	0.64	342
	9	2504	0.82	393	1500	0.61	316
25 août 92	9	2504	0.82	393	1500	0.61	316
	8.5	2434	0.73	429	1429	0.51	361
26 août 92	8.5	2434	0.73	429	1429	0.51	361
	7	2209	0.69	412	1429	0.5	368
27 août 92	7	2209	0.69	412	1429	0.5	368
	5	1866	0.56	429	1258	0.4	405
28 août 92	5	1866	0.56	429	1258	0.4	405
	1.5	1022	0.38	346	1022	0.38	346

Initialement, le débit mesuré n'était pas élevé. Très peu de débits anormaux ont été trouvés dans ce secteur. En effet, ce secteur ne présentait pas de problème majeur avant de faire les mesures de débits.

L'analyse des débits de nuits mesurés par tube de Pitot a permis de constater que plusieurs secteurs mesurés présentaient des débits de nuit de l'ordre de 150 à 300 L/j-pers. Ceci prouve qu'il existe à Montréal des secteurs pour lesquels les débits de nuits sont tout à fait acceptables.

4.4 Les types de bris

Afin de préciser les causes directes des bris, les données relatives aux types de bris observés lors des réparations de conduite de 7 des 9 régions nous ont été fournies pour une période comprise entre novembre 1996 et avril 1997. Pour 6 de ces 7 régions, la nature du bris était indiquée. Le tableau 4-38 présente le nombre de bris par région selon le type mentionné.

Tableau 4-38 Nombre de bris par région selon les différents types de bris.

Région	Circonférentiel	Longitudinal	Trou	Éclat	Total bris connus	Bris non caractérisés	Total bris connus
Ahuntsic	6		1	1	8	14	22
Villeray	8				8	4	12
Rosemont	5				5	2	7
Mercier	3	1			4		4
Plateau	8	3	1	2	14	3	17
RDP/PAT	13	2	4	1	20	12	32
Total	43	6	6	4	59	35	94
Total %	73	10	10	7	100	37	137

Les résultats montrent un pourcentage beaucoup plus élevé de bris circonférentiel que tout autre type de bris. Les résultats d'une étude de quatre municipalités par l'American Water Work Association Research Foundation [AWWARF-1] présente aussi les mêmes tendances.

Comme le mentionne l'AWWARF, le type de bris peut être différent selon le matériau utilisé pour les conduites. À la ville de Montréal, les conduites construites avant 1965 sont en fonte grise, tandis que celles construites après 1965 sont en fonte ductile. Toutefois, les conduites construites entre 1960 et 1965 et celles de 1965 à 1969 ne peuvent être séparées dans notre base de données. Toutes les conduites datant de 1960 à 1969 ont été considérées en fonte grise. La période de construction 1960 à 1969 compose 10% des conduites des cinq régions étudiées. Si l'on suppose que la construction a été réalisée uniformément, 5% des conduites ont été construites entre 1965 et 1969 donc l'erreur ne touche que 5 % des conduites. La fonte grise forme 87 % des conduites des régions analysées, tandis que la fonte ductile en compte 13 %.

Le tableau 4-39 présente les types de bris selon le matériau pour les 6 régions ayant relevé les types de bris sur la période allant de novembre 1996 à avril 1997.

Tableau 4-39 Types de bris selon le matériau.

Type de bris	Fonte grise		Fonte ductile		Matériau inconnu	Total Bris
	Bris	% fonte grise	Bris	% fonte ductile		
Circonférentiel	41	80.4	0	0	2	43
Longitudinal	4	7.8	1	33.3	1	6
Trou	3	5.9	1	33.3	2	6
Éclat	3	5.9	1	33.3	0	4

Selon les résultats présentés aux tableaux 4-38 et 4-39, 73 % des bris de conduite sont des bris circonférentiels et 41 des 43 conduites ayant subies un bris circonférentiel sont faites de fonte grise. Ces résultats ne sont pas surprenants puisque 74 % des conduites de Montréal et 87% des conduites des régions

étudiées sont en fonte [CNRC-2]. Plus de 80 % des bris sur les conduites en fonte grise sont du type circonférentiel.

Une étude du Centre National de la Recherche Canada [CNRC-2] sur les modes de rupture de différents matériaux de 23 municipalités démontre que 64 % des bris sur les conduites faites de fonte grise sont circulaires, 7 % sont longitudinaux, 19 % sont des trous et 6 % sont dus aux joints. Ces résultats sont comparables à ceux de la ville de Montréal. Pour les conduites en fonte ductile, très peu nombreuses à la ville de Montréal, les résultats divergent de ceux du CNRC. Selon ces derniers, le trou est le mode de rupture prédominant pour les conduites en fonte ductile.

Les bris circonférentiels sont essentiellement dus à des contractions thermiques (variation de température), à l'effet de poutre (manque de support du sol) et la pression interne. Les bris longitudinaux sont dus à la pression interne, « hoop stresses », et aux charges excessives. Les trous sont habituellement dus à la corrosion de la fonte ductile. Il est parfois difficile de distinguer le trou de l'éclat.

Selon les résultats du tableau 4-39, les bris associés à la fonte grise sont principalement circonférentielles. Ceci porte ainsi à croire que les bris sont causés par des contractions thermiques, des mauvais supports du sol ou de la pression interne. Portons toutefois quelques remarques sur le processus de corrosion de la fonte grise. Pour celle-ci, la corrosion se fait par graphitisation. La corrosion est une réaction électrochimique entre le métal de la conduite et son environnement dans lequel il y a perte de constituant ferreux pour ne laisser que le graphite. L'épaisseur effective de la conduite est réduite et le graphite ne donne aucune force structurale à la conduite. La graphitisation n'est pas un processus qui est apparent de l'extérieur de la conduite. En laissant la conduite affaiblie, elle est donc plus vulnérable à des ruptures par contraction thermique, par effet de poutre, par pression interne et par charges excessives. Il est donc possible que les bris circonférentiels de la fonte grise soient en partie dus à la corrosion de la conduite.

En résumé, à la ville de Montréal, les bris circonférentiels sont plus fréquents que les autres types de bris. De plus, les bris circonférentiels se retrouvent généralement sur les conduites de fonte grise, qui compose 74 % du réseau secondaire. Ces bris peuvent entres autres être dus à la corrosion de la conduite, aux contractions thermiques, à l'effet de poutre et à la pression interne. Ces résultats sont comparables aux tendances obtenues lors des études du CNRC et de l'AWWARF.

5 Évolution de l'état du réseau secondaire – Aspects Structuraux

La connaissance de l'évolution de la problématique des bris revêt une importance qui dépasse largement le niveau académique. D'une part, il est nécessaire de détenir l'historique des bris lorsque vient le temps de décider, du remplacement d'une conduite. D'autre part, cette même décision fait également appel à une prévision de bris sur un horizon correspondant à la nature de l'intervention. Ainsi, le gestionnaire se trouve périodiquement dans la situation où il doit décider s'il conserve ou remplace une conduite dans une rue dont il veut refaire la chaussée. Il est alors intéressé à prévoir le nombre de bris qui pourraient se produire sur une période de temps correspondant à celle du cycle de l'intervention qu'il veut faire sur la chaussée.

Les réseaux d'aqueduc évoluent généralement dans le sens d'une augmentation du nombre de ruptures en fonction du temps. Les résultats d'une étude sur le réseau de la ville de Calgary illustrent bien cette tendance comme le démontre la figure 5-1 [CNRC-1].

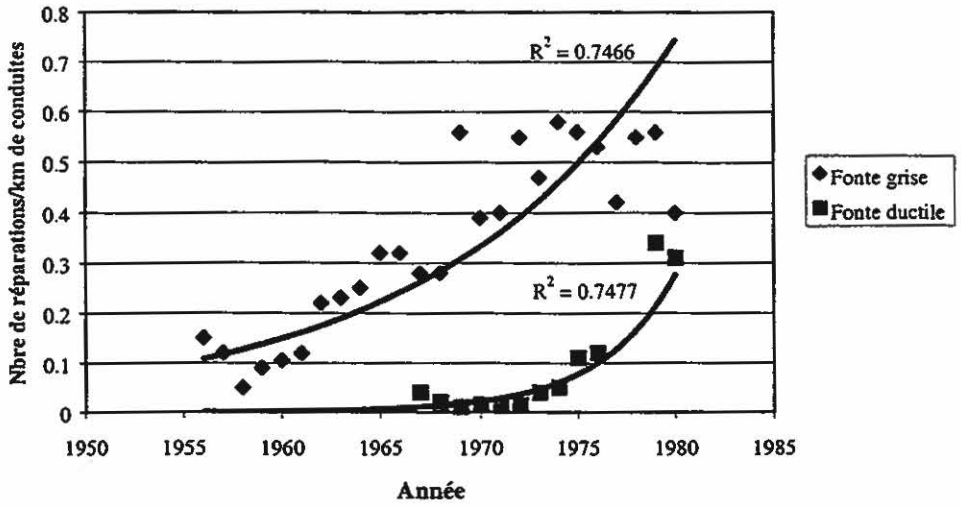


Figure 5-1 Évolution du nombre de réparations selon le matériau pour la ville de Calgary

5.1 Présentation de la région Ahuntsic

Les conduites de la région de Ahuntsic ont été choisies pour analyser l'évolution du nombre annuel de réparations de conduite ainsi que le nombre de tronçons à remplacer en raison du long historique de données de réparations. Les données disponibles remontent jusqu'en 1973.

L'analyse historique des conduites doit être effectuée sur des conduites représentatives de la ville de Montréal si l'on veut extrapoler les résultats à l'ensemble de la Ville. Pour être représentatives, les conduites doivent avoir été construites selon les exigences particulières de la ville. Pour cette raison, les territoires annexés doivent être évalués séparément si un bon nombre de conduites ont été posées avant l'annexion du territoire.

En théorie, toutes les régions de Montréal pourraient être considérées comme des annexions à l'exception de Ville-Marie. Toutefois, l'intérêt porte ici sur l'annexion de territoires développés, et donc dotés d'un réseau secondaire. La figure 5-2 présente les zones annexées et les dates d'annexion pour les régions de Ahuntsic et Villeray/St-Michel.

La région de Ahuntsic ne compte que deux zones récemment annexées : la zone 3 et la zone 12. La zone 3, qui est constituée d'un très faible linéaire de conduite, a été annexée en 1964. La période de construction de cette zone est de 1960 à 1969. Une partie du territoire peut avoir été développé avant l'annexion de la zone, mais le faible linéaire et le fait qu'aucun problème particulier de bris n'ait été relevé dans cette zone, permettent de négliger l'hypothèse de problèmes reliés au développement de zones selon des spécifications différentes de celle de la ville de Montréal. Pour ce qui est de la zone 12, annexée en 1954, elle s'est développée dans les années 1960. La conception a donc été réalisée par la ville de Montréal. Quant aux autres zones annexées, elles étaient très peu développées lors de l'annexion et aucune zone de la région Ahuntsic ne démontre de problèmes particuliers pouvant s'expliquer par l'annexion de territoire. Ainsi, la région de Ahuntsic est conservée pour l'analyse historique.

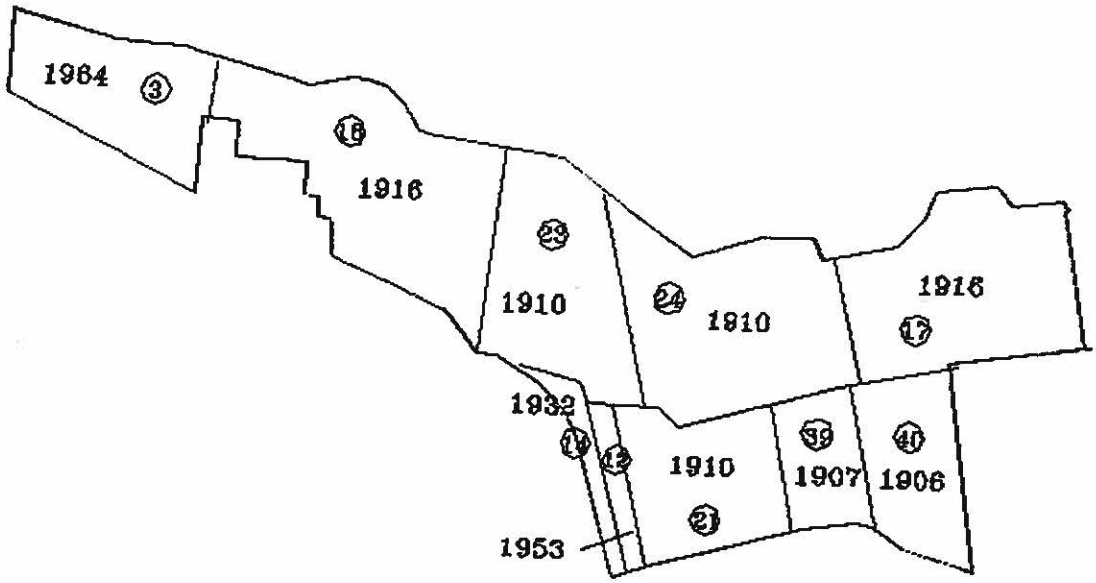


Figure 5-2 **Territoire annexé et date d'annexion de la région de Ahuntsic**

Pour s'assurer que les échantillons de conduite ont les mêmes caractéristiques tout au long de l'analyse, les conduites ayant été remplacées à l'intérieur de la période d'analyse sont retirées des groupes d'étude.

Caractéristiques des conduites

La majorité des conduites de la région de Ahuntsic ont été construites entre 1950 et 1959 et présentent le plus souvent un diamètre de 8 pouces. Le sol de cette région est principalement constitué de sable et de till.

Pour cette région, un total de 6,1 km de conduites a été remplacé depuis 1973. La longueur de conduites de la région de Ahuntsic a donc été réduite pour l'analyse de ce linéaire. Ce dernier passe donc de 308 km à 302 km. De plus, le nombre de réparations a été réduit à 246 étant donné les 3 bris associés aux conduites remplacées.

La répartition des longueurs de conduite en fonction de l'âge, du diamètre et du type de sol est présentée au tableau 5-1. Les taux moyens de réparation sont aussi présentés pour deux périodes d'analyse.

Tableau 5-1 Caractéristiques des conduites de la région de Ahuntsic.

Paramètres			Taux (rép/100km-an)	
PÉRIODE DE CONSTRUCTION	Longueur (km) (A)	(%) (B)	1985-1988	1992-1995
1900@1909	2.84	0.9	0	18
1910@1919	31.3	10.3	5	12
1920@1929	17.4	5.8	0	4
1930@1939	3.9	1.3	0	13
1940@1949	0	0	0	0
1950@1959	171.2	56.6	11	19
1960@1969	59.6	19.7	13	16
1970@1979	0.9	0.3	0	27
1980@1995	15.5	5.1	2	6
Total	302.6	100	9	16
TYPE DE SOL	Longueur (km)	(%)	1985-1988	1992-1995
Argile	24.2	8.0	5	21
Roc	24.6	8.1	12	15
Sable	103.4	34.2	13	17
Till	139.4	46.1	7	13
Tourbe	11	3.6	14	34
Total	302.6	100	9	16
DIAMÈTRE	Longueur (km)	(%)	1985-1988	1992-1995
6 po.	16.3	*5.4*	9	17
8 po.	241.6	*79.8*	9	15
10 po.	*4.2*	*1.4*	*0*	*18*
12 po.	40.5	*13.4*	11	22
Total	302.6	*100*	9	16

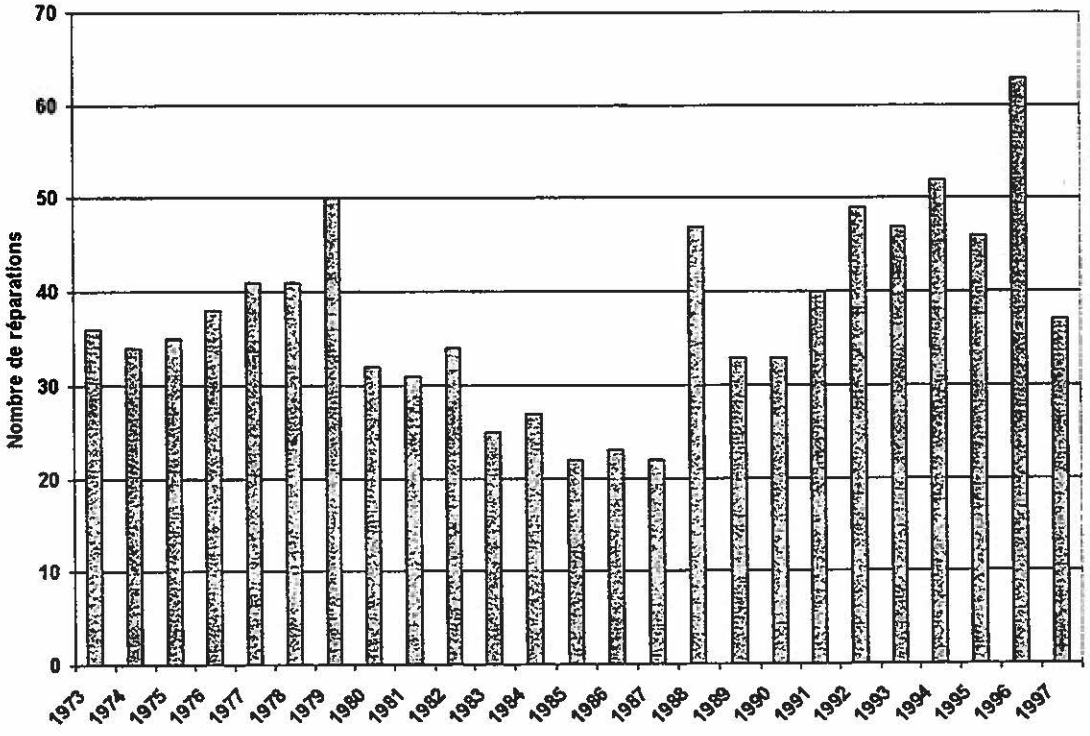
Avant d'aborder le nombre de bris annuel, il est important de préciser qu'en 1996 une inspection effectuée par une firme privée a permis de localiser 41 fuites sur le réseau secondaire. Sur ces 41 fuites, 38 avaient été réparées à la fin de 1996 et doivent être retirées du nombre de réparations de l'année 1996 afin de conserver l'homogénéité au niveau de l'origine des réparations.

Les données relatives au total annuel des réparations de 1973-1996 sont complétées par la donnée de 1997 fournie en mars 1998 par la Ville. Les réparations de 1996 attribuables à la campagne de détection sont exclues, de même que tous les tronçons ayant fait l'objet de remplacement.

5.2 Évolution des réparations et des taux de réparations

La figure 5-3 présente pour la région de Ahuntsic, le nombre de réparations effectuées entre 1973 et 1997, en excluant les réparations de fuite réalisées en 1996 suite à la campagne de recherche de fuite.

Figure 5-3 Réparations de Ahuntsic 1973-1997 (hors campagne de recherche de fuites 1995-1996)



De manière globale, on détecte, à partir de la figure 5-3, des variations par périodes. Ainsi de 1973 à 1979 (7 ans), on observe inter-annuellement une hausse du nombre de réparations; de 1980 à 1987 (8 ans), on observe une tendance générale à la baisse du nombre de réparations; et de 1988 à 1997, on observe une tendance générale à la hausse (lissage de 1996 et 1997 inclus). Empiriquement, les gestionnaires ont tenté d'expliquer ces situations par des affectations variées du personnel après 1983; en toute bonne foi, ils pouvaient supposer que les moyens humains et matériels, ainsi que les pratiques étaient les mêmes de 1973 à 1983, ainsi que de 1988 à 1997.

Compte tenu des 3 périodes discontinues observées à la figure 5-3, nous avons analysé les tendances statistiques observées pour les périodes prises individuellement afin de déterminer la période pouvant être jugée la plus représentative. Compte tenu du peu de données disponibles, nous avons également tenté de conserver les périodes les plus longues possible.

PÉRIODE 1973 À 1979

Sur la période de 1973 à 1979 (7 ans), on observe un taux d'augmentation de 5,42 % par an (exponentiel). La figure 5-4 présente cette augmentation. Cette période semble être homogène, le coefficient de corrélation est élevé (r^2= 0.8). Toutefois, **cette période est assez courte et nous ne l'utiliserons que comme hypothèse haute**, traduisant une courbe enveloppe haute de la progression des réparations.

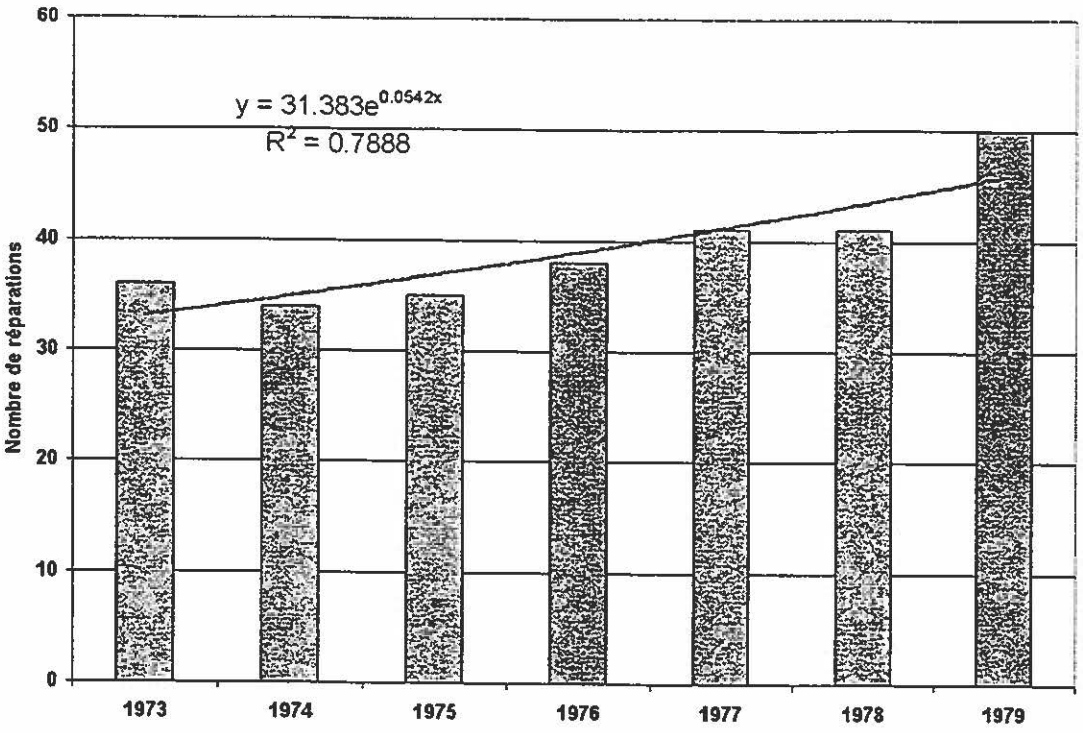


Figure 5-4 Ahuntsic – Évolution des réparations 1973-1979

PÉRIODE 1973 À 1982

Pour tenir compte des explications empiriques des autorités de la Ville, nous avons considéré la période allant de 1973 à 1982 comme une période homogène (voir figure 5-5). Sur une base statistique, l'ajustement d'une régression de type exponentielle ou linéaire est catastrophique (r^2=0.01). **Cette période est donc rejetée** comme période témoin.

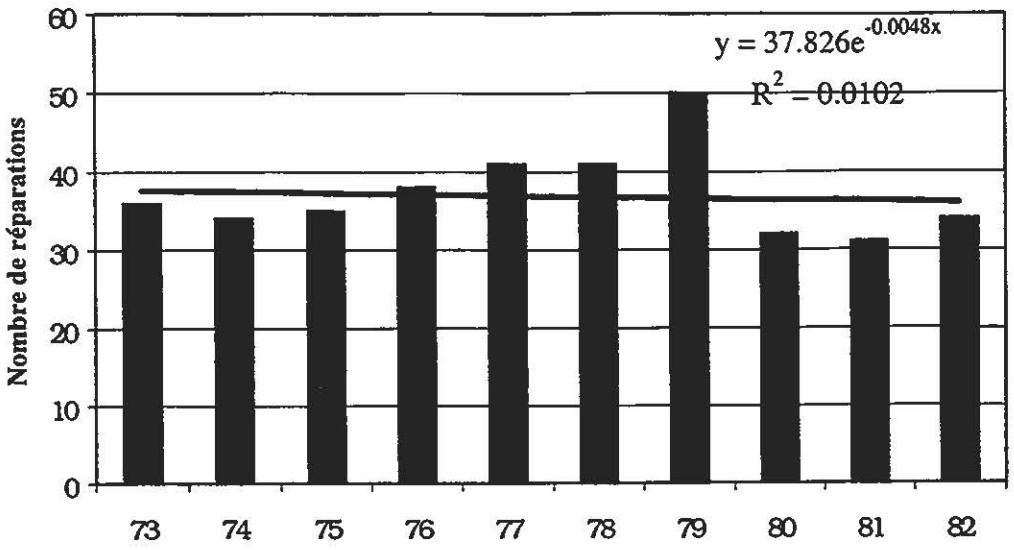


Figure 5-5 **Ahuntsic – Évolution des réparations 1973-1982**

PÉRIODE 1983 À 1997

Si l'on considère la période de 1983 à 1997 (15 ans) comme homogène en termes de moyens, on observe un taux de croissance de 6,2 % par an (exponentiel) et une corrélation intéressante (r^2=0,6). Puisque nous avons rejeté sur une base statistique la période allant de 1973 à 1982, **nous ne retiendrons pas la période corollaire de 1983 à 1997**, afin de ne pas surestimer la croissance du nombre de réparations dans le futur.

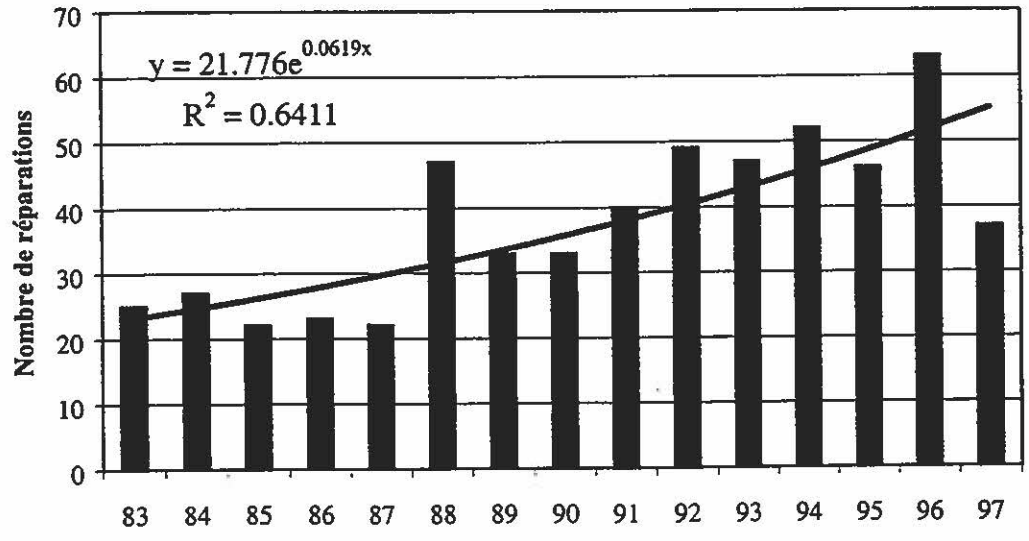


Figure 5-6 **Ahuntsic – Évolution des réparations 1983-1997**

PÉRIODE 1983 À 1986

La période de 1983 à 1986 est rejeté sur la base d'une explication empirique des autorités de la Ville décrivant un manque d'intérêt pour l'entretien du réseau d'aqueduc dans la région Ahuntsic pour cette courte période seulement.

PÉRIODE 1987 À 1997

On traite alors la période de 1987 à 1997 (11 ans). L'année 1987 a été incluse pour compenser l'année 1988 caractérisée par un très fort nombre de réparations et qualifiée d'année de récupération des années faibles de 1983 à 1987. Les résultats montrent un taux d'augmentation de 5,3 % par an, avec un facteur de corrélation limité (r^2=0,4). **Cette période n'est pas conservée**, mais il est intéressant de comparer les taux d'augmentation de cette période avec la période homogène de 1973 à 1979, soit 5,4 % contre 5,3 % d'augmentation annuelle.

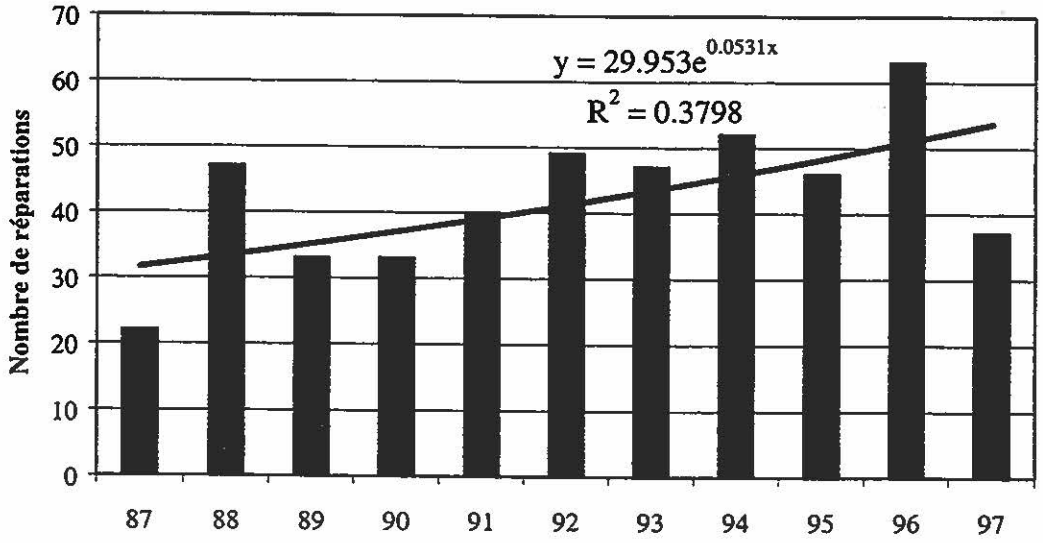


Figure 5-7 **Ahuntsic – Évolution des réparations 1987-1997**

PÉRIODE 1989 À 1997

Pour éviter la période de faible nombre de réparations (1983 à 1987 inclusivement), nous avons fait un essai en traitant la période de 1989 à 1997 (8 ans). Le taux d'augmentation annuel est plus faible, 4,6 % par an (exponentiel), mais le r^2 est aussi plus faible à 0,3. **Cette période est donc rejetée** parce que plus courte et que le coefficient de corrélation n'est pas meilleur.

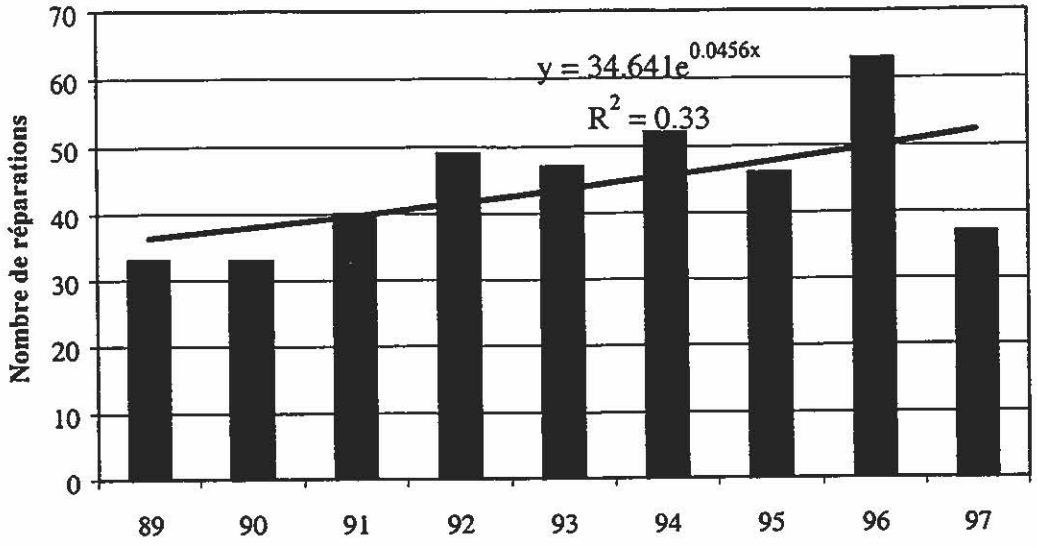


Figure 5-8 **Ahuntsic – Évolution des réparations 1989-1997**

PÉRIODE 1980 À 1997

La période allant de 1980 à 1997 (18 ans) correspond à la suite de la période 1973 à 1979 qui avait un haut coefficient de corrélation. L'augmentation du nombre de réparation, tel que présenté à la figure 5-9, est de 4,1 % par an (exponentiel) et le r^2 est voisin de 0,5. Cette période a l'avantage de ne pas donner trop de poids à la période allant de 1983 à 1987 (faible nombre de réparations). Cette période est retenue.

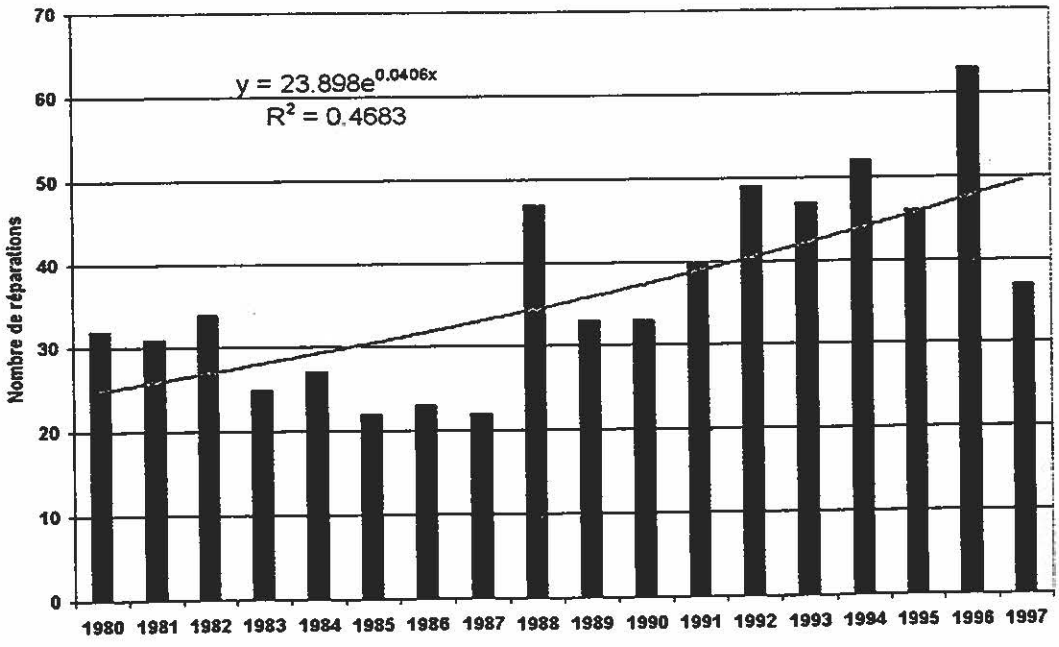


Figure 5-9 **Ahuntsic – Évolution des réparations 1980-1997**

Pour valider ce calcul, nous avons transposé ces résultats en rétrospective, tel que présenté à la figure 5-10. En 1960, on aurait alors observé, pour un réseau dont le linaire est voisin de 200 km, environ 8 réparations par an. Cela est possible en considérant que près de 75 % du réseau avait alors moins de 10 ans d'âge. Il faut noter que ce modèle est celui qui explique le mieux, en rétrospective, un taux de réparation relativement bas pour la période du début des années 1960.

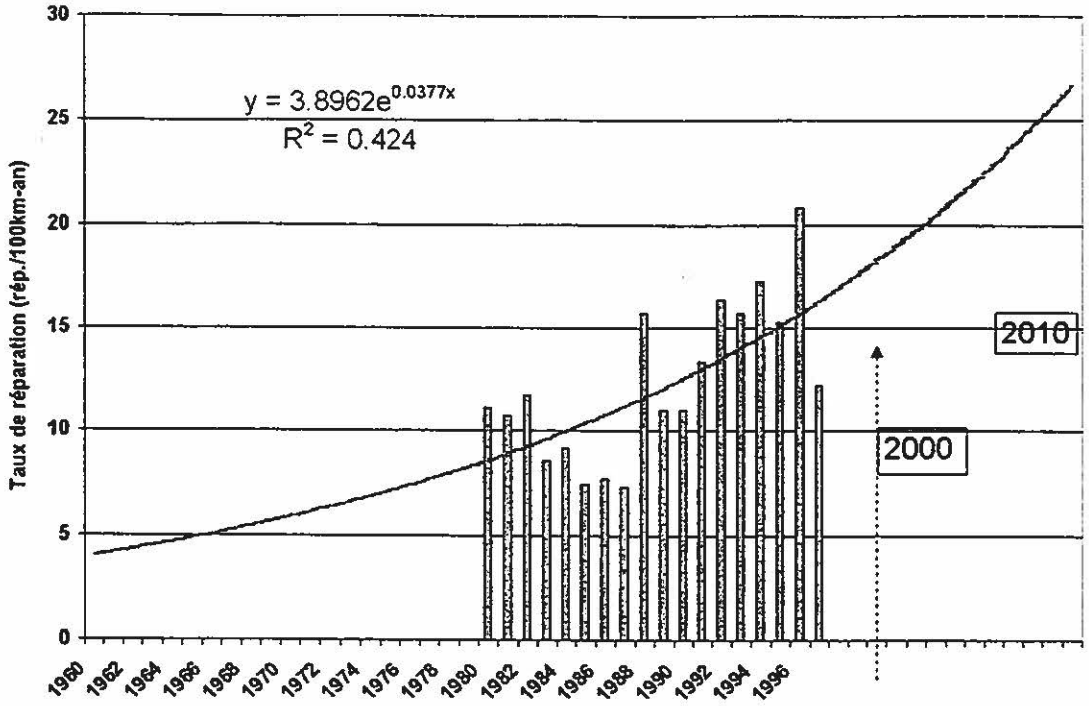


Figure 5-10 Évolution du taux de réparation 1960-2010

PÉRIODE 1973 À 1997

Malgré l'absence démontrée d'homogénéité de la série complète, on tente finalement de reprendre la série dans son entier pour éviter toute accusation de biais de l'interprétation. Pour établir une courbe limite basse, appelée hypothèse basse, on a traité en bloc la période 1973 à 1997 malgré son peu d'homogénéité apparente. Il ressort une augmentation annuelle de 1,1 % (exponentielle) caractérisée par un faible r^2, soit 0,09.

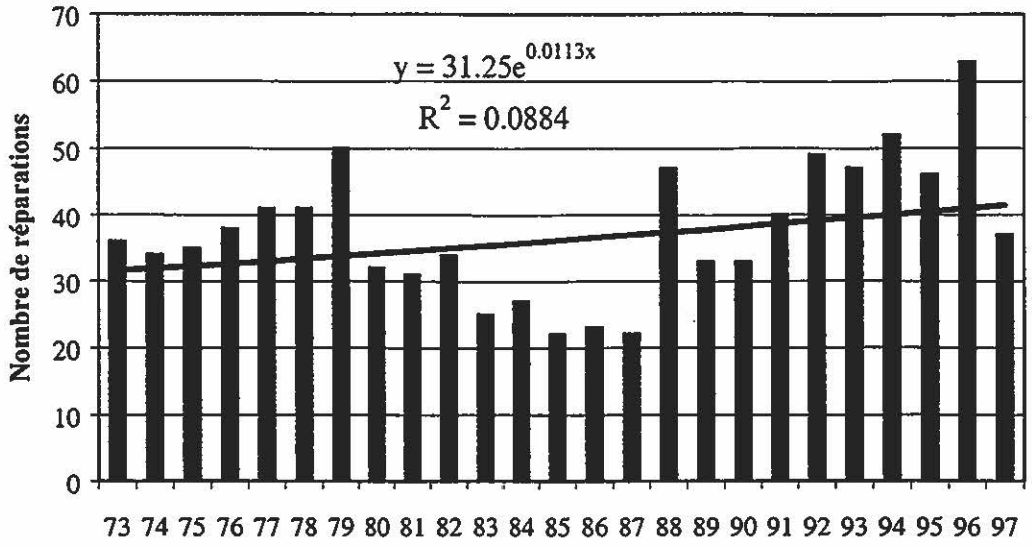


Figure 5-11 **Ahuntsic – Évolution des réparations 1973-1997**

PÉRIODE 1973 À 1982 EXCLUANT LA PÉRIODE 1983 À 1987

Pour essayer de retrouver un taux de corrélation mieux adapté, on a traité toute la période allant de 1973 à 1997 en retirant les données de 1983 à 1987 (voir explications sur cette période ci-dessus). Les résultats obtenus, soit un taux d'augmentation de 1,2 % par an (exponentiel), avec un r^2 légèrement amélioré de 0,25 seront considérés comme hypothèse basse. La figure 5-12 présente cette hypothèse.

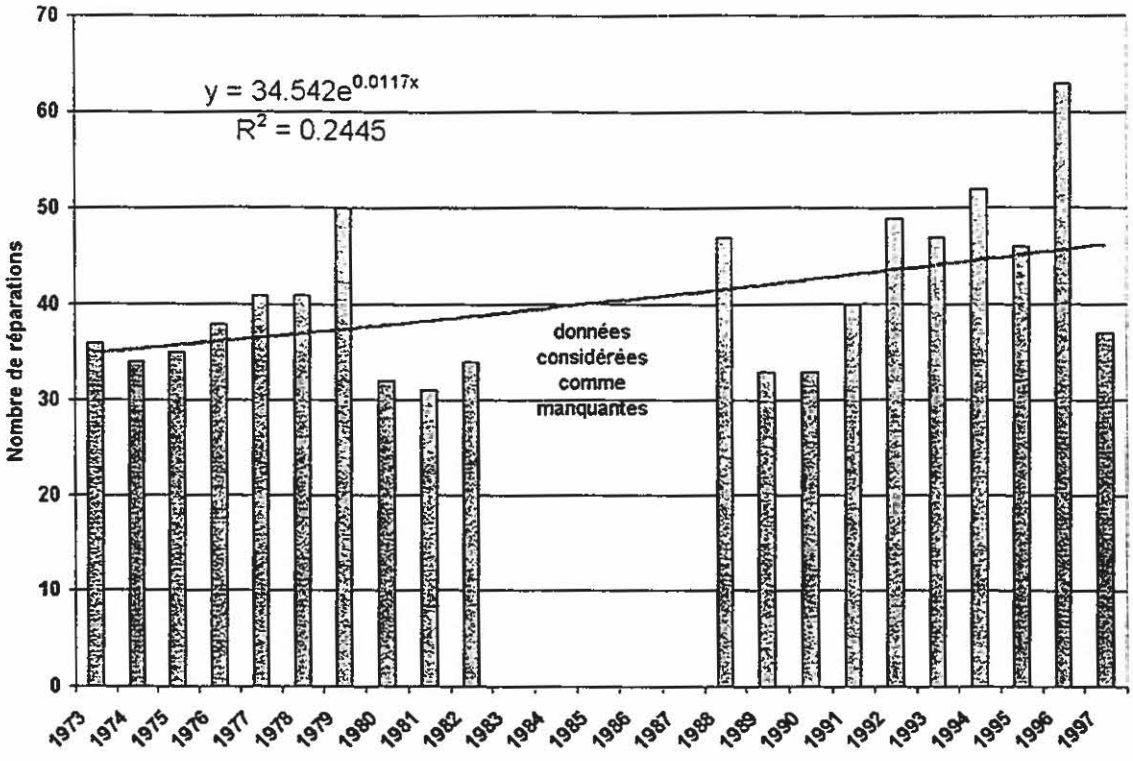


Figure 5-12 Ahuntsic – Évolution du nombre de réparations 1973-1982/1988-1997

Finalement, ces modèles traduisant l'évolution du nombre de réparations sont ramenés en évolution du taux de réparation (nombre de réparation/100 km-an). Les augmentations du taux de réparation et du nombre de réparation diffèrent légèrement en raison des différences de linéaire durant la période d'analyse. Il a été supposé que les 0.9 km de conduites posées durant la période de construction 1970-1979 ont toutes été installées avant 1973, date du début de l'étude. Pour ce qui est du 15 km de conduites installées durant la période 1980-1995, le linéaire a été réparti comme suit : 1 km/an entre 1981 et 1982, 2 km/an entre 1983 et 1987, 0 km/an entre 1988 et 1993 et 1 km/an entre 1994 et 1996.

Ainsi, les augmentations du taux de réparation pour les trois scénarios retenus sont:

Scénario bas:	0,9 %/an	(1973-97 excluant 1983-87)
Scénario médian:	3,77 %/an	(1980-97)
Scénario haut:	5,42 %/an	(1973-79)

5.3 Augmentation de différentes villes de référence

Le tableau 5-3 présente les augmentations annuelles du taux de réparation ou du nombre de réparations pour plusieurs autres villes nord-américaines. La comparaison doit ce faire de façon prudente car si le réseau est en forte expansion et les augmentations sont calculées en fonction du taux de réparation, une augmentation faible, voir même négative, peut être remarquée. Un autre point doit être pris en compte, le remplacement. En effet, une ville qui a un programme de remplacement adéquat devrait être caractérisé par une augmentation faible ou négative. L'interprétation des résultats est importante pour permettre la comparaison avec les résultats de Montréal. Une ville ayant un fort taux de remplacement ne peut être comparée avec une ville ayant un programme quasi-inexistant de remplacement.

Tableau 5-3 Augmentation annuelle des réparations pour différentes villes nord-américaines

Villes	Période	% augmentation annuelle	Références
Québec			
Sherbrooke	73-96	4	[Sherbrooke]
Ste-Foy	88-95	Environ 0	[Ste-Foy]
Canada			
Calgary (fonte grise)	56-80	8,1	[CNRC-2]
Calgary (fonte ductile)	67-80	25	[CNRC-2]
États-Unis			
Denver	73-83	0,02	[AWWARF-1] p. 17
Des Moines (6 po et +)	66-85	8,9	[Des Moines] p. 18
Des Moines (moins de 6 po)	66-85	2,6	[Des Moines] p. 18
East Bay	70-82	-3,6	[AWWARF-1] p. 17
Kenosha	74-82	3,1	[AWWARF-1] p. 17
Louisville	63-83	3,7	[AWWARF-1] p. 17
Milwauke	74-83	2	[AWWARF-1] p. 57
New York	40-78	1,4	[AWWARF-1] p. 17
Philadelphie	31-80	1,3	[AWWARF-1] p. 17
Washington	78-86	5 % (linéaire)	[CNRC-2]

6 Méthodes d'analyse – Aspects Structuraux

6.1 Méthode 1 :approche globale sans évolution

Le but de cette méthode est d'identifier les groupes de conduites qui ont actuellement des taux de réparation élevés. On considère par la suite le remplacement de ces groupes afin d'atteindre, pour l'ensemble de la ville, un taux moyen de l'ordre de la moyenne canadienne. Cette méthode de calcul ne tient pas compte de l'évolution de la dégradation des conduites. Un objectif de 19 rép./100km-an est fixé comme taux de réparation, taux qui correspond à la moyenne canadienne [CNRC-1]. Ce dernier doit cependant, dans le cas de la ville de Montréal, être réduit à 13 réparations/100km-an pour tenir compte uniquement des réparations des bris remontant à la surface (hors campagne de recherche de fuites), pour représenter les demandes de travail de la ville de Montréal. La réduction de cet objectif de 19 à 13 réparations/100km-an est tiré de résultats obtenus à la ville Laval.

Les taux de réparation par région ont été présentés pour la période 1993 à 1996 à la section 4.1.4 selon différents paramètres. Certains groupes de conduites ont révélé des taux supérieurs à la moyenne globale des conduites de la ville. Les régions ayant des groupes de conduites caractérisés par des taux supérieurs à 30 réparations/100km-an sont présentées au tableau 6-1. Pour les régions annexées, seul le secteur de St-Michel de la région Villeray/St-Michel est présenté et les deux secteurs de Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles ont été séparés.

Tableau 6-1 Caractéristiques des régions avec groupes critiques (taux ≥ 30 rép./100 km-an)

Paramètres	Ahuntsic		St-Michel		Mercier		Ville-Marie		Sud-Ouest		Rivière-des-Prairies		Pointe-aux-Trembles	
	Longeur (km)	Taux (rép./100km-an)	Longeur (km)	Taux (rép./100km-an)	Longeur (km)	Taux (rép./100km-an)	Longeur (km)	Taux (rép./100km-an)	Longeur (km)	Taux (rép./100km-an)	Longeur (km)	Taux (rép./100km-an)	Longeur (km)	Taux (rép./100km-an)
Période de construction														
0 à 1899	0	0	0	0	0	0	141.2	30	21.1	25	0	0	0	0
1900 à 1909	2.6	29	0	0	51.4	30	9.7	13	96.7	16	0	0	0	0
1910 à 1919	31.5	17	2.9	70	52.7	19	4.3	0	48.8	28	0	0	0	0
1920 à 1929	17.8	7	0	0	65.9	19	0.9	0	40.3	17	0	0	0	0
1930 à 1939	3.9	13	3.7	20	11.5	35	4.9	10	0.3	0	0	0	0	0
1940 à 1949	0	0	2.9	17	0	0	0	0	0.4	0	10.8	42	0	0
1950 à 1959	172.8	22	89.9	46	70.5	19	31.3	3	1.1	0	52.8	70	72	33
1960 à 1969	61.5	21	1.2	0	31.9	17	0	0	9.5	0	17	32	62.4	18
1970 à 1979	1.2	21	0	0	0	0	0	0	0	0	21.6	15	16.2	14
1980 à 1995	17.5	17	1.5	34	2.1	0	0	0	5.8	0	110.9	13	24	6
Diamètre (po)														
6	17.5	26	56	61	8.9	31	9.7	36	13.2	2	11.7	152	9.8	41
8	245.1	19	26.7	25	208.2	22	126.7	17	166	17	146.2	19	114.2	25
10	4.2	18	5.7	35	9.4	5	14.7	46	11.4	62	5.8	117	0	0
12	42	23	13.5	13	59.4	20	41.1	35	33.5	19	49.4	25	49.6	12
Type de sol														
Argile	24.1	20	29.2	57	152.9	25	34.6	32	43.2	8	53.6	57	70.2	23
Roc	24.4	21	3.3	30	60.1	13	10.8	7	16.6	3	42	20	14.7	19
Sable	106.1	21	1.2	0	17.3	29	81.6	26	118.2	26	6.2	93	42.9	27
Till	142.1	18	54.8	33	51.4	17	58.3	16	34.5	15	105.9	19	30.7	13
Tourbe	12.1	35	13.3	66	4.3	17	6.9	47	11.6	13	5.5	0	15.2	28
Total	308.7	20	101.9	44	286	21	192.2	24	224.1	18	213.1	30	173.7	22

RIVIÈRE-DES-PRAIRES

Les conduites de 6 et 10 po de diamètre sont caractérisées par les taux les plus élevés de la Ville. Le remplacement de ces conduites permettrait de réduire le taux de cette région de 30.4 rép./100km-an à 18.9 rép./100km-an. L'objectif n'est pas atteint. Les caractéristiques des autres conduites (8 et 12 po) sont présentées au tableau 6-2.

Tableau 6-2 Profil des conduites de 8 et 12 po selon les sols et les périodes de construction - RDP

Période de construction	Longueur (km)	Nombre de réparations	Taux (rép./100km-an)
1940 à 1949	10.4	16	38.5
1950 à 1959	40.7	72	44.3
1960 à 1969	16.1	14	21.8
1970 à 1979	21.1	10	11.8
1980 à 1995	107.3	49	11.4
Type de sol	Longueur (km)	Nombre de réparations	Taux (rép./100km-an)
Argile	48.8	88	45
Roc	33.2	14	10.5
Sable	5.1	12	58.3
Till	103	47	11.4
Tourbe	5.46	0	0
Total	195.6	161	20.6

Le groupe de conduites le plus intéressant à remplacer pour atteindre l'objectif de 13 rép./100km-an est celui des conduites installées entre 1950 et 1959. Le remplacement de ces conduites (41 km) permet de réduire le taux de 18.9 rép./100km-an à 10.4 rép./100km-an.

Il serait intéressant de déterminer si toutes les conduites de cette période nécessitent un remplacement. L'analyse des ces groupes de conduites nous permet de ne remplacer que les conduites enfouies dans les sols d'argile, de sable et de till. Ainsi, en optimisant, le linéaire de remplacement est donc de 23.32 km comparativement à 41 km. Le taux de réparation en optimisant le remplacement est alora de 10.9 rép./100km-an, ce qui est toujours acceptable.

Pour le secteur de Rivière-des-Prairies, il est donc recommandé de remplacer les conduites suivantes :

Tableau 6-3 Résumé des conduites à remplacer selon leurs caractéristiques - RDP

Diamètre (po)	Période de construction	Type de sol	Linéaire à remplacer (km)	% de la ville
6	Toutes	Tous	11.7	0.5
10	Toutes	Tous	5.8	0.2
8 et 12	1950 à 1959	Argile	13.8	0.6
		Sable	0.18	0.01
		Till	9.351	0.4
Total			40.8	1.71

Le taux de réparation de l'ensemble des conduites que nous recommandons de remplacer s'élève à 102 réparations/100km-an.

SECTEUR SAINT-MICHEL

Le secteur Saint-Michel est caractérisé par un taux de réparation très élevé, particulièrement pour les conduites de 6 po de diamètre. Le remplacement de ces 56 km de conduite permet de ramener le taux de réparation de 43.9 à 10.3 rép./100km-an, ce qui est acceptable.

Ainsi, nous recommandons le remplacement des conduites suivantes dans le secteur Saint-Michel :

Tableau 6-4 Résumé des conduites à remplacer selon leurs caractéristiques - St-Michel

Diamètre (po)	Période de construction	Type de sol	Linéaire à remplacer (km)	% de la ville
6	Toutes	Tous	56	2.3

Le taux de réparation de l'ensemble des conduites que nous recommandons de remplacer s'élève à 61 réparations/100km-an.

SUD-OUEST

La région du Sud-Ouest, malgré un taux global inférieur à la moyenne de la ville, obtient un taux de réparation élevé pour les conduites de 10 po de diamètre. Le remplacement de ces conduites (11.4 km) porte le taux de réparation de 18.4 rép./100km-an à 15.3 rép./100km-an. Malgré que l'objectif de 13 réparations/100km-an ne soit pas rencontré, le remplacement suggéré des conduites de cette région s'arrête là puisque aucun autre groupe de conduites n'est problématique.

Ainsi, nous recommandons le remplacement des conduites suivantes :

Tableau 6-5 Résumé des conduites à remplacer selon leurs caractéristiques - Sud-Ouest

Diamètre (po)	Période de construction	Type de sol	Linéaire à remplacer (km)	% de la ville
10	Toutes	Tous	11.4	0.5

Le taux de réparation des conduites que nous recommandons de remplacer s'élève à 61 réparations/100km-an.

Ville-Marie

La région du centre-ville a un taux de réparation global supérieur à la moyenne de la ville. Les groupes de conduites ayant un taux supérieur à 30 rép./100km-an sont les conduites de 6, 10 et 12 po de diamètre et celles installées au siècle dernier. Puisque le remplacement de toutes les conduites du siècle dernier représente un très fort investissement (141 km), le remplacement des conduites de 6, 10 et 12 po est plus réaliste (65.5 km) compte tenu des budgets. En poussant plus loin l'analyse de ces groupes de conduites, on constate que seules les conduites de 6, 10 et 12 po de diamètre installées au siècle dernier nécessite un remplacement. Ainsi, le linéaire de conduite à remplacer peut être réduit de 65.5 km à 58 km. Le taux de la région est ainsi ramené à 11.2 réparations/100km-an. L'objectif est ainsi atteint.

Nous recommandons donc le remplacement des conduites suivantes :

Tableau 6-6 Résumé des conduites à remplacer selon leurs caractéristiques - Ville-Marie

Diamètre (po)	Période de construction	Type de sol	Linéaire à remplacer (km)	% de la ville
6,10 et 12	0 à 1899	Tous	58	2.4

Le taux de réparation de l'ensemble des conduites que nous recommandons de remplacer s'élève à 41 réparations/100km-an.

SECTEUR POINTE-AUX-TREMBLES

Deux groupes de conduite ont un taux de réparation supérieur à 30 réparations/100km-an, les conduites de 6 po de diamètre et celles installées entre 1950 et 1959. Le taux de réparation des conduites de 6 po de diamètre étant plus élevé que celles installées entre 1950 et 1959, ces premières seraient donc remplacées en premier lieu. Ce remplacement de 9,8 km de conduites permet de réduire légèrement le taux de réparation de 22.3 rép./100km-an à 20 rép./100km-an. Les caractéristiques des conduites restantes sont présentées au tableau 6-7.

Tableau 6-7 Profil des conduites de 8, 10 et 12 po - PAT

Période de construction	Longueur (km)	Nombre de réparations	Taux (rép./100km-an)
1950 à 1959	66.4	84	32
1960 à 1969	57.3	40	17
1970 à 1979	16.2	9	14
1980 à 1995	24	6	6
Type de sol	Longueur (km)	Nombre de réparations	Taux (rép./100km-an)
Argile	65.7	61	23
Roc	14.7	11	19
Sable	39	37	24
Till	29.2	13	11
Tourbe	15.2	17	28
Total	163.8	139	21.2

Les conduites de 8, 10 et 12 po de diamètre installées entre 1950 et 1959 ont un taux élevé. En analysant les groupes de conduites de cette période de construction, on remarque qu'il faut remplacer toutes les conduites à l'exception des conduites enfouies dans du till, ce qui totalise 58.2 km.

Au total, avec le remplacement de 68 km de conduites, le taux de réparation est abaissé de 22.3 rép./100km-an à 8.2 rép./100km-an.

Pour le secteur de Pointe-aux-Trembles, il est recommandé de remplacer les conduites suivantes :

Tableau 6-8 Résumé des conduites à remplacer selon leurs caractéristiques - PAT

Diamètre (po)	Période de construction	Type de sol	Linéaire à remplacer (km)	% de la ville
6	Toutes	Tous	9.8	0.4
8,10,12	1950 à 1959	Argile	25.9	1.1
		Sable	11.8	0.5
		Till	16.6	0.7
		Tourbe	3.7	0.1
Total			67.8	2.8

Le taux de réparation des conduites que nous recommandons de remplacer s'élève à 36 réparations/100km-an.

AHUNTSIC

La région de Ahuntsic est une région située dans la moyenne de la Ville en ce qui concerne les taux de réparation. Malgré cette moyenne, les conduites enfouies dans les sols tourbes présentent des taux élevés. En remplaçant ces 12 km de conduites, le taux de réparation descend de 20.2 rép./100km-an à 18.8 rép./100km-an. Malgré que l'objectif de 13 réparations/100km-an ne soit pas rencontré, les remplacements dans cette région s'arrêtent là puisque aucun autre groupe de conduites n'est problématique.

Ainsi, nous recommandons le remplacement des conduites suivantes :

Tableau 6-9 Résumé des conduites à remplacer selon leurs caractéristiques - Ahuntsic

Type de sol	Période de construction	Diamètre	Linéaire à remplacer (km)	% de la ville
Tourbe	Toutes	Tous	12,1	0.5

Le taux de réparation des conduites que nous recommandons de remplacer s'élève à 35 réparations/100km-an.

MERCIER

Les conduites installées entre 1900 et 1909 et celles installées entre 1930 et 1939 présentent des taux élevés de réparation. Le remplacement de ces conduites (63 km) permet de réduire le taux de la région de 21.2 rép./100km-an à 14.4 rép./100km-an. L'analyse de ces groupes confirme que toutes ces conduites doivent être remplacées. Bien que l'objectif de 13 réparations/100 km-an ne soit pas rencontré, aucun autre remplacement de conduite n'est proposé. Les conduites de 6 pouces, bien qu'ayant un taux de réparation élevé, ne sont pas ajoutées, car leur remplacement pour les périodes autres que 1900-09 et 1930-39 n'affectent pas significativement le taux de réparation.

Ainsi, nous recommandons le remplacement des conduites suivantes :

Tableau 6-10 Résumé des conduites à remplacer selon leurs caractéristiques - Mercier

Période de construction	Type de sol	Diamètre	Linéaire à remplacer (km)	% de la ville
1900 à 1909	Tous	Tous	51.4	2.1
1930 à 1939	Tous	Tous	11.5	0.5
Total			62.9	2.6

Le taux de réparation des conduites que nous recommandons de remplacer s'élève à 31 réparations/100km-an.

RÉSUMÉ DES REMPLACEMENTS RECOMMANDÉS POUR L'ENSEMBLE DE LA VILLE

Le tableau suivant résume les remplacements de conduites recommandés avec cette méthode, ainsi que les taux avec et sans remplacement pour toutes les régions de la ville.

Tableau 6-11 Résumé des remplacements recommandés et des taux de réparation pour l'ensemble de la ville

RÉGION	Taux de réparation actuel (rép./100km-an)	Longueur à remplacer (km)	% du réseau de la ville	Taux de réparation après remplacement (rép./100km-an)
Ahuntsic/Cartierville	20.2	12.1	0.5	18.8
Villeray	13.6	0	0	13.6
St-Michel	43.9	56	2.3	10.3
Rosemont/Petite-Patrie	3	0	0	3
Mercier/Hochelaga/Maisonneuve	21.2	62.9	2.6	14.4
Plateau/Mont-Royal/Centre-Sud	17.1	0	0	17.1
Ville-Marie	23.7	58	2.4	11.2
Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce	15.5	0	0	15.5
Sud-Ouest	18.4	11.4	0.5	15.3
Rivière-des-Praires	30.4	40.8	1.7	10.9
Pointe-aux-Trembles	22.3	67.8	2.8	8.2
Total	19.6	309.0	12.8	13.2

Suite au remplacement de 309 km de conduite, le taux global de la ville de Montréal de 19.6 rép./100km-an est ramené à la valeur correspondant à l'objectif, soit 13.2 rép./100 km-an. Ce remplacement représente 12.8 % du réseau de conduite de la ville. En échelonnant le remplacement sur 20 ans, l'effort annuel de remplacement serait de 0.65 %, ce qui est très près du 0.6 % correspondant à la valeur moyenne des villes canadiennes. [CWWA] Dans l'ensemble, le taux de réparation des conduites dont le remplacement est ainsi recommandé s'élève à plus de 50 réparations/100km-an, ce taux est inacceptable.

6.2 Méthode 2 : sélection des tronçons-critiques

La méthode 2 permet de déterminer, à partir des résultats de la région Ahuntsic, l'évolution des longueurs critiques pour l'ensemble de la ville. Pour débuter, une analyse du taux de réparation de la région Ahuntsic doit être faite pour déterminer l'augmentation annuelle de ce paramètre. À partir de cette augmentation, nous pouvons calculer le seuil de rentabilité de remplacement que nous définissons comme suit : c'est le taux actuel de réparation qui, en suivant une progression annuelle définie pendant la période d'étude, conduit à un taux tel qu'il devient rentable de rénover aujourd'hui plutôt que de continuer à réparer. Les conduites critiques sont donc définies et l'analyse de l'évolution de ces conduites est réalisée. Suite à cela, cette évolution des tronçons critiques est transposée à l'ensemble des conduites de la ville pour déterminer les longueurs critiques dans 20 ans. Cette méthode est tirée de l'American Water Works Association Research Foundation [AWWARF-1]

6.2.1 Taux et nombre de réparation de la région de Ahuntsic

Une analyse complète du nombre de réparation sur la période 1973-1996 a été présentée au chapitre précédent. Cette analyse a conduit à l'identification de 3 hypothèses d'évolution. Pour les fins de cette méthode, nous retiendrons l'hypothèse médiane qui porte sur la période 1980-1996; l'année 1997 n'est pas utilisée, car seul le nombre de réparation nous a été transmis, sans leur localisation.

Pour permettre une transposition des résultats d'Ahuntsic au réseau de l'ensemble de la Ville, nous appliquerons aux données d'Ahuntsic des fenêtres de 4 ans suivant un principe identique à la méthode des moyennes mobiles.

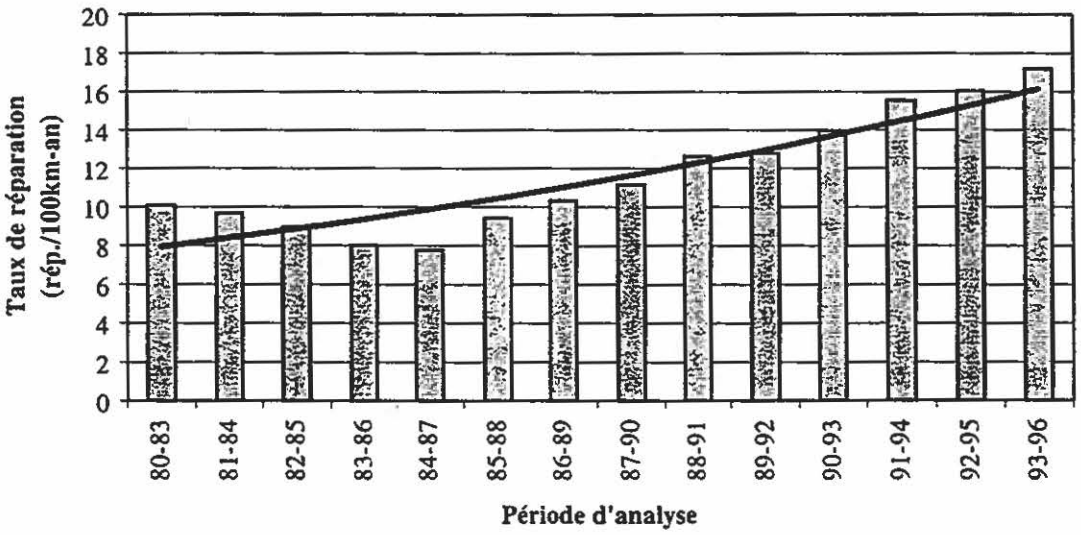


Figure 6-1 **Évolution du taux de réparation des conduites secondaires de la région de Ahuntsic depuis 1980 (fenêtre de 4 ans)**

L'augmentation annuelle présentée par cette courbe est de 5,5 %.

6.2.2 Seuil de rentabilité de remplacement

Le gestionnaire de réseau doit parfois choisir entre la réparation d'une conduite ayant présenté plusieurs bris et fuites ou son remplacement. Le choix s'impose notamment lorsqu'une intervention doit être effectuée sous la chaussée ou qu'une conduite présente une multitude de réparations. À ce niveau, le gestionnaire peut baser sa décision sur une analyse de rentabilité.

Lorsque le taux de réparation devient très élevé, il est plus rentable de remplacer la conduite que de continuer à la réparer. Le seuil de rentabilité de remplacement, c'est-à-dire le taux de réparation à partir duquel il est plus rentable de remplacer que de rénover, peut être calculé à partir de l'équation 6-1 [AWWARF-1]. Cette équation tient compte des coûts directs et indirects des réparations pour les années à venir de même que du coût de remplacement de la conduite.

Équation 6-1

$$B = \frac{C}{U \times P(i, j, n)}$$

$$P(i, j, n) = \frac{\left[1 - \frac{1}{(1+M)^n}\right]}{M}$$

$$M = \frac{(1+i)}{(1+j)} - 1$$

où,

B : taux de réparation initial , seuil de rentabilité de remplacement (bris/km/an);
C : coût présent de remplacement;
U : coût de réparation d'un bris;
j : croissance annuelle du nombre de bris;
i : taux d'intérêt net (taux préférentiel – inflation);
n : période d'étude.

L'analyse de rentabilité fait appel à un calcul actuariel utilisé dans plusieurs domaines et dont l'application à ce cas particulier est bien documentée (AWWARF). On notera que cette méthode est reconnue comme étant conservatrice (conduit à de faible taux de remplacement).

COÛT DE RÉPARATION D'UN BRIS (U)

Le coût de réparation d'un bris de conduite est fonction du diamètre de la conduite et de sa localisation par rapport aux autres ouvrages (égout, voirie, utilités publiques, etc.)

Les coûts directs de réparation proviennent notamment de la réalisation des travaux de sciage, d'excavation, de réparation en temps que tel, de remblayage, de compaction, de désinfection et de réfection de la voirie. Après consultations auprès de quelques surintendants des régions de la ville de Montréal, ces coûts sont évalués en moyenne à 5500$.

Les coûts reliés à la réparation des entrées de service sont également à inclure aux coûts directs. Une étude sommaire d'un secteur de la région Côte-des-Neiges a permis d'établir qu'il y a 0,4 bris sur entrée de service par conduite ayant au moins un bris. Le coût moyen de réparation d'un bris sur entrée de service est de 2500$. Un montant de 1000$ doit donc être ajouté au coût direct.

Les coûts indirects sont notamment rattachés aux activités de réception des plaintes, de dépistage, de coordination et planification des travaux, les frais de loyer, de chauffage ainsi que ceux reliés aux réclamations pour dommages. Ces coûts sont estimés à 50% des coûts directs de réparation de conduite. Un montant moyen de 2750$ doit donc être ajouté.

Sur cette base, le coût total de réparation de conduite s'évalue à 8250 $. Ce coût doit être ramené à une valeur actuelle équivalente correspondant à la période d'étude, à un taux d'intérêt net et à un taux d'augmentation du taux de réparation.

COÛT PRÉSENT DE REMPLACEMENT (C)
Le coût de remplacement varie aussi selon les caractéristiques de la conduite.

Un coût de remplacement moyen a été retenu pour l'analyse. Ce coût provient de la moyenne des coûts utilisés pour différents diamètres de conduite tel qu'utilisé par la ville de Montréal en 1996. Pour l'estimation de ce coût moyen, on suppose que 50% des travaux de remplacement peuvent être effectués en même temps que la réfection de la voirie. Ainsi, on considère le coût de réfection de la voirie pour seulement 50% des travaux. Le coût moyen de remplacement retenu est de 650 $/ mètre linéaire.

Il faut noter que les coûts présentés ne sont que des coûts moyens applicables à l'ensemble du réseau de la ville de Montréal. Ils permettent d'obtenir une enveloppe budgétaire de remplacement et/ou de réhabilitation. Pour une conduite particulière, il est conseillé d'utiliser les valeurs propres s'y rattachant.

CROISSANCE ANNUELLE DU NOMBRE DE BRIS (j)
Le taux de croissance annuelle à utiliser ici est celui du tronçon étudié et non celui d'un ensemble de tronçons. Il doit par ailleurs être exprimé sous forme d'un taux moyen annuel, c'est-à-dire en considérant une croissance exponentielle

Pour les fins du présent calcul, nous utiliserons une valeur de 6% soit 0,5 % de plus que la progression du taux de l'ensemble de la région. Il est normal de procéder ainsi puisque la progression des réparations des conduites problématiques est plus rapide que celle de l'ensemble des conduites. En l'absence de données spécifiques, nous majorons donc arbitrairement de 0,5 %.

TAUX D'INTÉRÊT NET (i)
La variable i correspondant à l'écart entre le taux d'intérêt privilégié et le pourcentage d'augmentation annuelle de l'indice des prix à la consommation a été réévalué. En se basant sur les données des 24 dernières années, la valeur moyenne de la variable i a été calculée à 4.5%. Cette valeur moyenne a été calculée à partir des données fournies dans « L'Observatoire Économique Canadien ». Le tableau 6-12 présente les valeurs de 1972 à 1995.

Tableau 6-12 Taux d'intérêt net, taux d'intérêt et taux d'inflation.

Année	Inflation (A)	Taux d'intérêt (B)	Taux net (C=B-A)
1972	4,7	6	1,3
1973	7,8	7,65	-0,15
1974	10,8	10,75	-0,05
1975	10,8	9,42	-1,38
1976	7,5	10,04	2,54
1977	8	8,5	0,5
1978	9	9,69	0,69
1979	9,1	12,9	3,8
1980	10,2	14,25	4,05
1981	12,4	19,29	6,89
1982	10,9	15,81	4,91
1983	5,7	11,17	5,47
1984	4,4	12,06	7,66
1985	3,9	10,58	6,68
1986	4,2	10,52	6,32
1987	4,4	9,52	5,12
1988	4	10,83	6,83
1989	5	13,33	8,33
1990	4,8	14,06	9,26
1991	5,6	9,94	4,34
1992	1,5	7,48	5,98
1993	1,8	5,94	4,14
1994	0,2	6,88	6,68
1995	2,1	8,65	6,55
Moyenne	6,2	10.64	4,5

PÉRIODE D'ÉTUDE (n)

Nous allons considérer la période d'étude comme le temps qui sépare deux interventions moyennes effectuées sur la chaussée. Si la conduite a un taux de réparation supérieur au seuil de rentabilité de remplacement, il est alors préférable de remplacer la conduite lors de l'intervention sur la chaussée plutôt que d'attendre une intervention subséquente. Les interventions sur la chaussée retenues et valables pour le champ d'application de la formule sont :

- le resurfaçage, d'une durée de vie approximative de 7 ans
- la reconstruction de la fondation de la chaussée, d'une durée de vie approximative de 25 ans.

Ces durées de vie nous ont été suggérées par le Laboratoire de la ville de Montréal.

En utilisant ces valeurs dans l'équation 6-1, le seuil de rentabilité de remplacement est de 1063 rép/100km-an pour l'intervention de resurfaçage et de 260 rép/100km-an pour l'intervention de reconstruction de la fondation de la chaussée. Les résultats sont présentés au tableau 6-13.

Tableau 6-13 Seuils de rentabilité et longueurs de conduite à remplacer selon l'intervention réalisée sur la chaussée

Intervention sur la chaussée	n	i	j	m	p	C/U	B (rép/100km-an)
Resurfaçage	7	4.5%	6%	-0.0142	7.4	78.8	1063
Reconstruction de la fondation de la chaussée	25	4.5%	6%	-0.0142	30.2	78.8	260

Ces résultats très élevés obtenus dans le cas d'une analyse basée sur des coûts de resurfaçage sont compréhensibles : si la ville se contente de ce type d'intervention, il est plus rentable de continuer à réparer bris et fuites que de rénover la conduite.

6.2.3 Les tronçons critiques de Ahuntsic

Pour effectuer l'analyse sur les tronçons, l'historique des données, limité à des fenêtres de 4 ans, entraîne une imprécision. En effet, une nuance doit être apportée entre les tronçons Nord-Sud et les tronçons Est-Ouest :

- Les tronçons Nord-Sud ont une longueur moyenne de 300 m. Pour ces tronçons, la valeur critique du taux (260 rép./100km-an) est atteinte avec 3,12 réparations sur 4 ans. Il est donc dépassé lorsqu'un tel tronçon connaît une réparation par an. L'historique de 4 ans est donc suffisant pour ces tronçons (tronçons longs);

- Les tronçons Est-Ouest ont une longueur moyenne de 80 m. Le taux critique de 260 rép./100km-an) est atteint avec 0,832 réparation sur 4 ans. Il serait donc dépassé avec une réparation sur 4 ans. L'historique de 4 ans est donc insuffisant pour ces tronçons. La longueur critique pour une réparation sur un historique de 4 ans est de 96 m (tronçons courts).

Nous avons démontré précédemment qu'il est plus rentable de remplacer que de réparer les tronçons qui ont un taux de réparation supérieur à 260 rép/100 km-an. Pour atteindre ce taux, nous avons aussi souligné qu'une conduite de moins de 96 m de longueur (tronçon court) doit avoir été réparée une seule fois au cours des quatre dernières années. Il est difficilement justifiable de recommander le remplacement de cette conduite puisque l'historique de données de réparations est insuffisamment long. Une conduite affectée une fois lors des quatre dernières années peut n'avoir jamais brisé auparavant. Il y a 86 km de tronçons courts dans la région de Ahuntsic.

Ainsi, les conduites courtes considérées critiques sont celles qui ont un taux de réparation supérieur à 260 rép./100km-an et qui ont subi plus d'une réparation ou, celles qui répondent au critère de l'un des cas présentés à la figure 6-2.

De plus, les conduites longues considérées critiques sont celles ayant un taux de réparation supérieur à 260 rép./100km-an ou celles répondant au critère du cas 4.

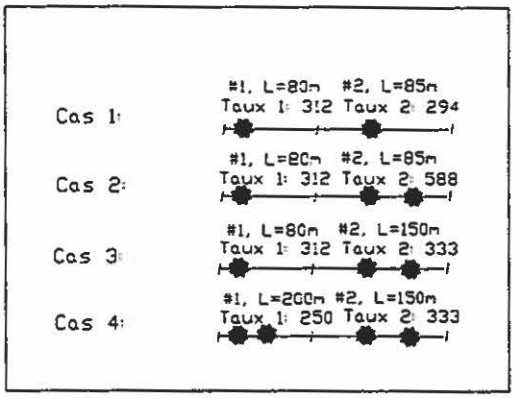


Figure 6-2 Différents cas possibles de regroupement de tronçons critiques

Explications des cas :

Cas 1 : Les tronçons 1 et 2, qui sont des tronçons courts, ont un taux de réparation supérieur à 260 rép./100km-an et une seule réparation. En regroupant les tronçons 1 et 2, on obtient une longueur de 165 m et 2 réparations. Le nouveau taux de réparation est de 303 rép./100km-an. Les tronçons 1 et 2 sont donc à remplacer.

Cas 2 : Le tronçon 1, qui est un tronçon court, a un taux de réparation supérieur à 260 rép./100km-an et une seule réparation. Le tronçon 2, qui est un tronçon court, a un taux de réparation supérieur à 260 rép./100km-an et 2 réparations, il est donc déjà à remplacer. En regroupant les tronçons 1 et 2, on obtient une longueur de 165 m et 3 réparations. Le nouveau taux de réparation est de 455 rép./100km-an. Le tronçon 1 est donc à remplacer en plus du tronçon 2.

Cas 3 : Le tronçon 1, qui est un tronçon court, a un taux de réparation supérieur à 260 rép./100km-an et une seule réparation. Le tronçon 2, qui est un tronçon long, a un taux de réparation supérieur à 260 rép./100km, il est donc déjà à remplacer. En regroupant les tronçons 1 et 2, on obtient une longueur de 230 m et 3 réparations. Le nouveau taux de réparation est de 326 rép./100km-an. Le tronçon 1 est donc à remplacer en plus du tronçon 2.

Cas 4 : Le tronçon 1, qui est un tronçon long, a un taux de réparation inférieur à 260 rép./100km-an et deux réparations. Le tronçon 2, qui est un tronçon long, a un taux de réparation supérieur à 260 rép./100km, il est donc déjà à remplacer. En regroupant les tronçons 1 et 2, on obtient une longueur de 350 m et 4 réparations. Le nouveau taux de réparation est de 286 rép./100km-an. Le tronçon 1 est donc à remplacer en plus du tronçon 2.

À partir de cette analyse, nous pouvons établir l'augmentation de la longueur des tronçons critiques pendant la période étudiée. La figure 6-3 présente le nombre de tronçons et la longueur de conduite devenant critiques sur une période de 4 ans. Le taux de réparation est aussi présenté à titre de comparaison.

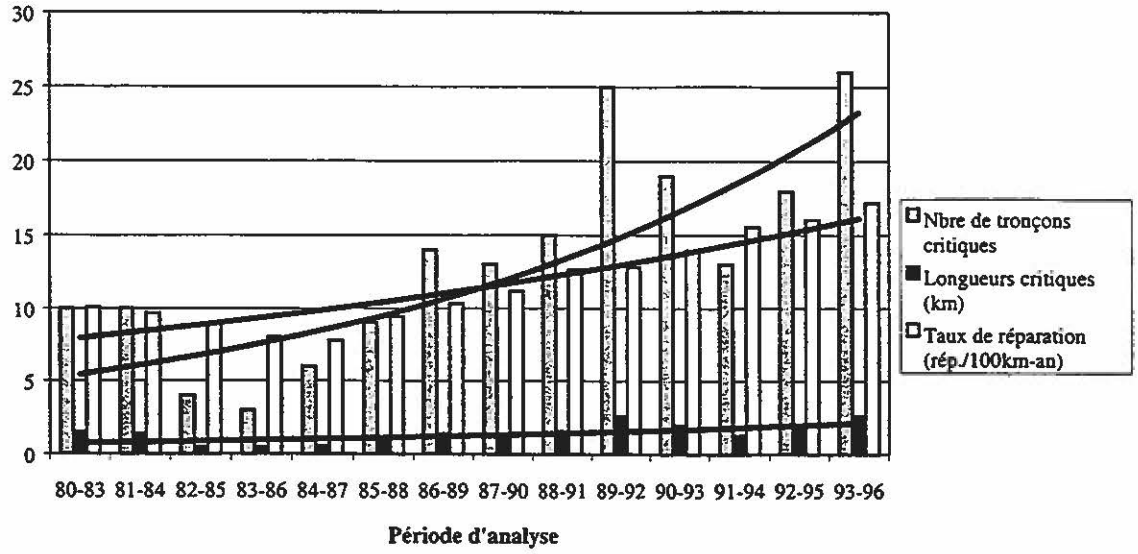


Figure 6-3 **Évolution du taux moyen de réparation, du nombre de tronçons critiques et des longueurs critiques de la région de Ahuntsic.**

Aussi, le nombre de tronçons critiques et le taux moyen de réparation ont presque doublé entre les périodes 1980-83 et 1993-96. Selon la relation exponentielle, l'augmentation annuelle des longueurs critiques et du taux moyen de réparation est de 8,0% et de 5,5 % pour l'ensemble de la période d'analyse. On remarque que l'évolution des longueurs critiques est supérieure à celle des taux de réparation de l'ensemble des conduites, ce qui confirme la validité de majorer de l'évolution du taux de réparation de 0,5 % lors du calcul du seuil de rentabilité.

6.2.4 Transposition à la ville

Comme précédemment, l'analyse des bris a été réalisé en fonction des tronçons longs et courts. Les résultats sont présentés à la figure 6-4 sous forme de schéma.

Selon le seul critère du seuil de rentabilité de 260 rép/100km-an, il y a 40,2 km de tronçons courts à remplacer. En analysant ces tronçons, il s'avère que **4,77 km** de ces conduites ont subi au moins deux réparations au cours des quatre dernières années. Ces conduites sont donc considérées réellement à remplacer. D'un autre coté, 35,46 km de conduites sont critiques sur la base du seuil de rentabilité, bien qu'elles n'aient subi qu'une réparation au cours des quatre dernières années. En analysant la localisation de ces tronçons, on constate que certains de ces tronçons sont voisins ou ont un voisin à remplacer. En regroupant ces tronçons courts, on peut former des tronçons longs qui ont subi plusieurs réparations au cours des quatre dernières années. Le regroupement de ces conduites est possible puisqu'elles ont les mêmes caractéristiques (âge, type de sol, pression, diamètre, méthode de pose, etc.). Ce regroupement ajoute **7,48 km** aux conduites à remplacer.

Les tronçons de plus de 96 m de longueur (tronçons longs) représentent 1 711 km de conduites. Les tronçons longs que nous considérons à remplacer sont ceux qui ont un taux de réparation supérieur à celui du seuil de rentabilité et totalisent **18,77 km**. À ces conduites, nous ajoutons les tronçons non-critiques qui ont subi au moins deux bris au cours des quatre dernières années, et qui sont voisins d'un tronçon qui lui est considéré critique selon le seuil de rentabilité. Les mêmes raisons et la même démarche de localisation

utilisées pour les tronçons courts s'appliquent dans ce cas-ci. Ces tronçons longs à remplacer totalisent **3,26 km** de conduites.

Une note particulière à un des tronçons doit être apportée. Sur un des tronçons du boulevard Gouin Est de la région de Rivière-des-Prairies, qui a une longueur de 2,6 km, 6 des 7 réparations ont été effectuées sur une distance de 500 m (entre les adresses 12 140 et 12 400). Seulement cette portion de 500 m a été considérée pour ne pas fausser le résultat.

En résumé, l'ensemble des conduites à remplacer de la ville de Montréal totalisent présentement **34,28 km** sur la seule base des réparations de bris. Majoré de 50 % pour tenir compte des fuites (17,14 km), ce linéaire passe à 51,42 km.

Le taux d'augmentation annuelle de la longueur de tronçons critiques de la région Ahuntsic de 8,04 % est appliqué à l'ensemble de la Ville. Ceci porte le longueur de tronçons à remplacer dans les 20 prochaines années à 171,3 km. À ce chiffre, les 17,1 km de tronçons à remplacer pour tenir compte des fuites sont ajoutés. Le total à remplacer sur l'ensemble de la Ville est donc de 188,4 km, soit une moyenne de 0,39 % du linéaire total.

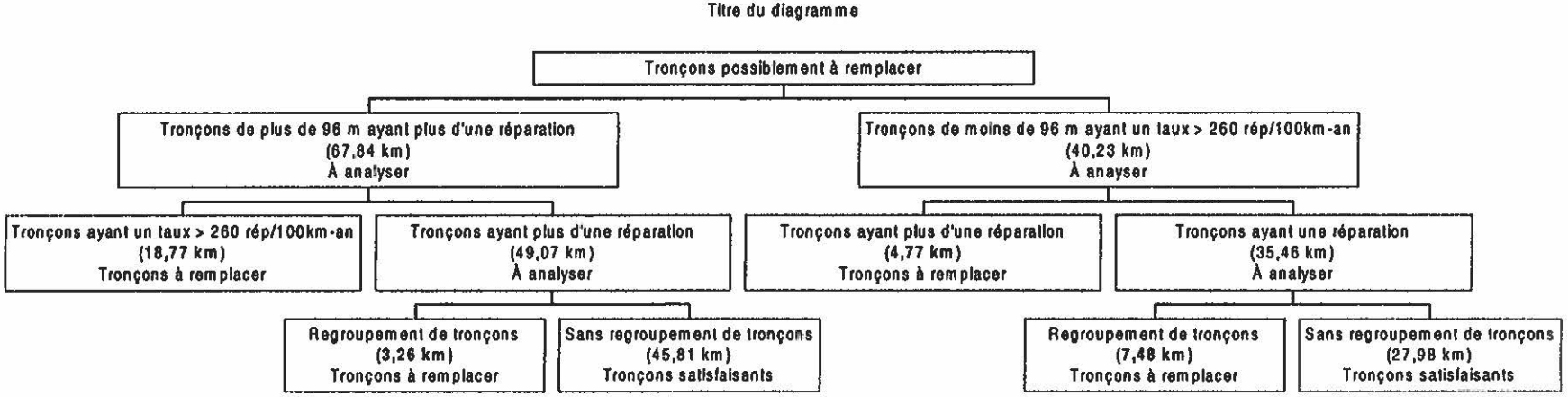


Figure 6-4 Schéma logique des tronçons de conduites pour l'ensemble de la ville

6.2.5 Intégration des programmes actuels

Dans sa programmation sur 10 ans, la ville de Montréal a prévu remplacer des conduites d'aqueduc secondaires présentant des défaillances structurales fréquentes. Il est important de comparer les conduites à remplacer pour s'assurer qu'elles ne font pas déjà partie de celles dont nous recommandons le remplacement. Le tableau 6-14 présente les conduites qui doivent être remplacées dans un proche avenir par la ville de Montréal ainsi que les coûts associés.

La programmation sur 10 ans de la Ville en matière de réseau secondaire (document du 1er septembre 1995) comprend:

- $26,6 millions de travaux identifiés de réhabilitation-remplacement d'aqueduc et/ou d'égouts sur le territoire de la Ville (dont $13,9 millions pour le boulevard Gouin). Les problématiques sous-jacentes à ces travaux devront être examinées afin d'établir si nous devons les ajouter à nos propositions.

- $30 millions de travaux non identifiés de réhabilitation sur des conduites d'aqueduc et/ou d'égouts sur les réseaux de la Ville. À priori, il s'agit de travaux de même nature que celle de notre proposition et on ne devrait pas ajouter les 2.

- $5 millions de travaux d'ajout, de réhabilitation ou de remplacement de conduite d'aqueduc sur les réseaux de municipalités étrangères. Même remarque que pour le point précédent.

De plus, un budget de $4 millions est prévu pour des fins de diagnostic.

Tableau 6-14 Remplacement de conduite d'aqueduc planifié par la ville de Montréal en raison du nombre de bris.

Rue	Intersection 1	Intersection 2	Travaux	Coût (M$)
14 ième ave.	René Lévesque	Ste-Catherine	aqueduc	0,1
15 ième ave.	de la Gauchetière	De Montigny	aqueduc	0,3
Boul. Gouin	13 ième ave	Autoroute 40	aqueduc/égout	13,9

Selon le critère des tronçons critiques, il a été conseillé de remplacer une section du boulevard Gouin. La ville de Montréal veut remplacer l'aqueduc et l'égout de 7,37 km de chaussée du boulevard Gouin. Le coût de remplacement, selon une firme de consultant est de 540$/m de conduite, lorsque les conduites d'égout et d'aqueduc sont remplacées au même moment. Ainsi, la ville a planifié un montant de 4 millions $ pour le remplacement de l'aqueduc. Selon la méthode de calcul établie à la section précédente, on constate que 5,8 km (en incluant le tronçon de 2,6 km plutôt que de 0,5 km, voir note particulière section 3.3.5.2.6) sur les 7,37 km de conduites prévues par le programme sont réellement à remplacer.

6.3 Méthode 3 : évolution et taux critique par groupe

L'ensemble des résultats relatifs à cette méthode sont présentés dans un rapport distinct que le CNRC a déposé sous reliure séparée.

6.4 Méthode 4 : modélisation de l'effort de rénovation

TRANSPOSITION À L'ENSEMBLE DU RÉSEAU DE LA VILLE ET NIVEAU D'INTERVENTION REQUIS

Les figures 6-6 à 6-8 présentent les taux de réparation pour les hypothèses basse (0,90%), moyenne (3,77%) et haute (5,42 %) selon le statu quo et selon les investissements requis pour ramener le taux de réparation près celui de la moyenne canadienne.

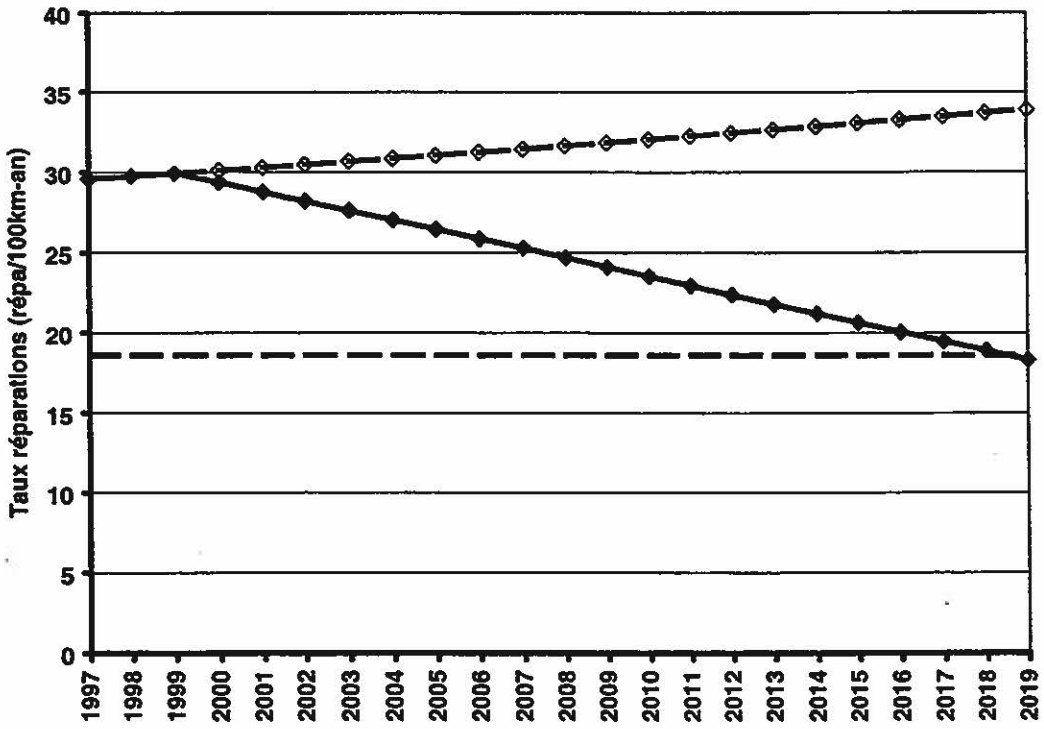


Figure 6-6 Évolution du taux de réparation avec et sans rénovation (hypothèse basse)

L'investissement annuel requis à partir de l'an 2000 jusqu'à l'an 2019 pour ramener le taux de réparation à à 18,6 rép./100 km-an ou moins est de 4,6 millions $ selon l'hypothèse d'une augmentation annuelle du taux de réparation égale à 0,90 % (voir exemple de calcul de l'investissement au tableau 6-15).

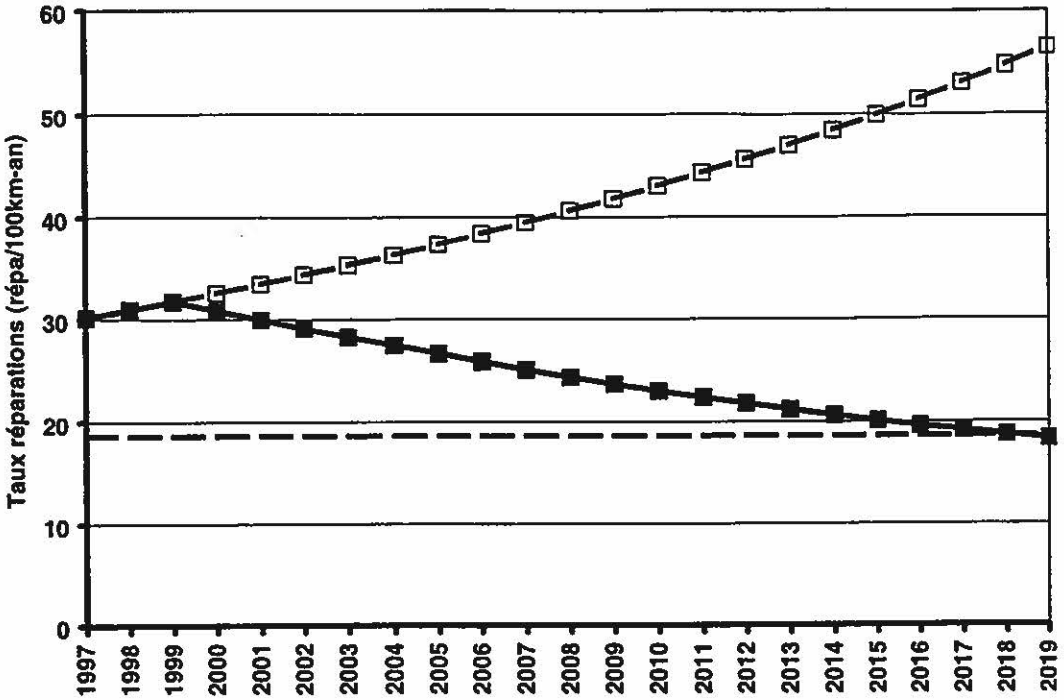


Figure 6-7 Évolution du taux de réparation avec et sans rénovation (hypothèse moyenne)

Ici, l'investissement annuel requis à partir de l'an 2000 jusqu'à l'an 2019 pour ramener le taux de réparation à 18,6 rép./100 km-an ou moins est de 10,4 millions $ selon l'hypothèse d'une augmentation annuelle du taux de réparation égale à 3,77 % (voir exemple de calcul de l'investissement au tableau 6-15).

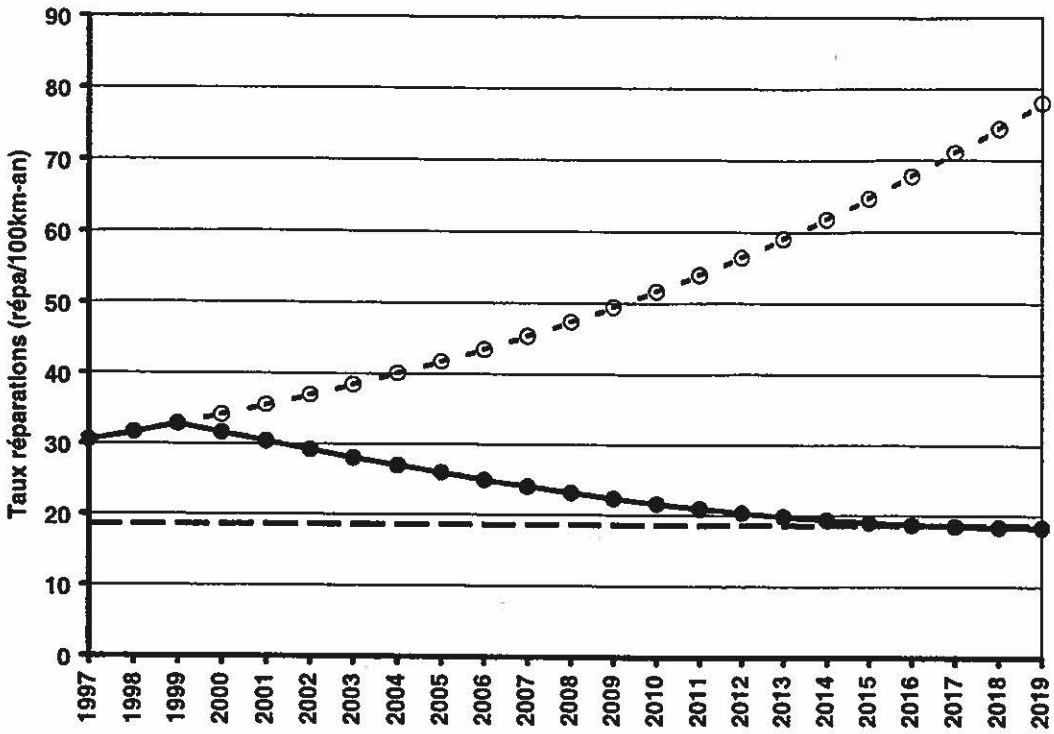


Figure 6-8 Évolution du taux de réparation avec et sans rénovation (hypothèse haute)

Selon l'hypothèse d'une augmentation annuelle du taux de réparation de 5.4 %, l'investissement annuel requis à partir de l'an 2000 jusqu'à l'an 2019 pour ramener le taux de réparation à 18,6 rép./100 km-an ou moins est de 15,2 millions $ (voir exemple de calcul de l'investissement au tableau 6-15).

Le tableau suivant présente le calcul du taux de réparation de l'hypothèse moyenne qui demande un investissement annuel de 10,4 millions $ à partir de l'an 2000. La croissance du taux de réparation tient compte du linéaire de conduite remplacé.

Tableau 6-15 Exemple de calcul du taux de réparation pour l'hypothèse d'un investissement annuel en rénovation de 10 400 000$ à partir de l'an 2000

Année	Temps	Bris totaux	Investissement	Bris annulés	Longueur remplacées (km)	Taux de réparation rép. /100 km-an	Augmentation de bris de l'année	Aug. bris p/r 1996
	A	B	C	D	D'	E	F	G
1996	0	706	$0	0	0.0	29.4	0	0
1997	1	724	$0	0	0.0	30.2	18.07	18.07
1998	2	742	$0	0	0.0	30.9	18.77	36.84
1999	3	762	$0	0	0.0	31.7	19.49	56.33
2000	4	741	$10 400 000	42	16.0	30.9	20.24	76.56
2001	5	719	$10 400 000	42	16.0	30.0	20.36	96.93
2002	6	699	$10 400 000	42	16.0	29.1	20.88	117.81
2003	7	678	$10 400 000	42	16.0	28.3	21.41	139.22
2004	8	659	$10 400 000	42	16.0	27.4	21.96	161.17
2005	9	640	$10 400 000	42	16.0	26.7	22.52	183.69
2006	10	621	$10 400 000	42	16.0	25.9	23.09	206.78
2007	11	603	$10 400 000	42	16.0	25.1	23.68	230.46
2008	12	586	$10 400 000	42	16.0	24.4	24.29	254.75
2009	13	569	$10 400 000	42	16.0	23.7	24.91	279.67
2010	14	553	$10 400 000	42	16.0	23.1	25.55	305.22
2011	15	538	$10 400 000	42	16.0	22.4	26.21	331.43
2012	16	523	$10 400 000	42	16.0	21.8	26.88	358.31
2013	17	509	$10 400 000	42	16.0	21.2	27.58	385.89
2014	18	496	$10 400 000	42	16.0	20.7	28.29	414.18
2015	19	483	$10 400 000	42	16.0	20.1	29.02	443.19
2016	20	471	$10 400 000	42	16.0	19.6	29.76	472.96
2017	21	460	$10 400 000	42	16.0	19.2	30.53	503.49
2018	22	450	$10 400 000	42	16.0	18.8	31.32	534.80
2019	23	441	$10 400 000	42	16.0	18.4	32.12	566.93

Définition des colonnes et des variables :

A : temps écoulé (année), t, où t varie de t=0 à t=23
B_t: nombre de réparation au temps t
C_t : sommes investies en rénovation à l'année t
D_t : Nombre de réparations annulées suite aux sommes investies en rénovation à l'année t
D't : Longueur de conduite remplacée suite aux sommes investies à l'année t
E_t : Taux de réparation au temps t
F_t : augmentation du nombre de bris selon l'année initiale (1996)
j : augmentation annuelle du nombre de bris; hypothèse moyenne : j = 0.0377 = 3.77%

NbreBrisInitial = 19,6 bris/100km-an x 2400km= 470 bris;
NbreFuite = 235,2 fuites; ce nombre est conservé constant tout au long de l'étude.

Mode de calcul des colonnes :

$$B_t = B_{t-1} + F_t - D_t$$
$$B_0 = NbreBrisInitial + NbreFuites$$

$$D_t = \frac{C_t \times 2{,}6 bris/km}{650000\$/km}$$
$$D'_t = \frac{C_t}{650000\$/km}$$

$$E_t = \frac{B_t}{2400km}$$

$$F_t = G_t - G_{t-1}$$
$$F_o = 0$$

$$G_t = E_o \times \frac{\left(2400km - \sum_{t=o}^{t=t-1} D't\right)}{100} \times \left(e^{0{,}0377 \times t} - 1\right)$$
$$G_o = 0$$

Ainsi, pour chacun des 3 scénarios, un taux de remplacement annuel, exprimé en pourcentage du linéaire total, est établi. On obtient ce pourcentage de linéaire en divisant l'investissement annuel par le coût de rénovation d'un kilomètre et par le linéaire total de conduites de la ville de Montréal :

$$\%LINÉAIRE = \frac{C}{(650{,}000\$/km) \times 2400km} \times 100$$

6.6 Recommandations d'interventions

Le tableau 6-16 présente le linéaire de conduites remplacées annuellement dans différentes villes du monde. Le taux de remplacement est présenté en % du linéaire, pour permettre la comparaison.

Lorsqu'on sous-entends pourcentage de remplacement de conduites, il faut s'assurer que le remplacement est effectué pour des raisons structurales. Le pourcentage de remplacement de l'Angleterre, établi à 1.5 % du linéaire, inclut aussi des remplacements pour des problèmes de qualité de l'eau chez le consommateur. Ici aussi, les comparaisons ne doivent être faites que sur des remplacements de même nature.

Tableau 6-16 Linéaire de conduites remplacées annuellement dans différentes autres du monde

Villes	Période	Taux annuel de remplacement % du linéaire	Référence
QUÉBEC			
Montréal	1986-1996	0.13	[Programme PTI]
Québec	1986-1996	0.6	[Québec]
Sherbrooke	1985-1996	0.3	[Sherbrooke]
	1985-1993	0.2	[Sherbrooke]
	1994-1996	0.6	[Sherbrooke]
Ste-Foy	1985-1996	0.52	[Ste-Foy]
CANADA			
Canada		0.6	[CWWA] p. 17
Municipalités canadiennes (120)		0.6	[AWWA-1] table 21
ÉTATS-UNIS			
East Bay	1970-1982	0.22	[AWWARF-1] p. 127
États-Unis	1992	0.5	[AWWARF-3] p. XV
Louisville	1986-1993	0.81	[AWWARF-2] p. 96
OUTRE-MER			
Angleterre	1995-2000	1.5	[Hydroplus] p. 76
Berlin	1970-1990	0.65	[Hydroplus] p. 77

7 Équipements connexes – Aspects structuraux

7.1 Entrées de service

Tel que présenté au chapitre 4, le pourcentage d'interventions sur les entrées de service par rapport aux conduites d'aqueduc a été évalué approximativement à 80%-20%. La région de Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce, région pour laquelle les bris de services nous ont été fournis, a été étudiée. Quatre secteurs de cette région ont été analysés pour déterminer la relation entre les réparations de service sur les conduites ayant un bris (de conduite) versus celles qui n'ont pas de bris (de conduite). L'organigramme de la figure 7-1 montre le cheminement logique pour parvenir au résultat du tableau. Il s'agit ici de tronçons ayant ou non des bris. Les tableaux 7-1 et 7-2 indiquent les résultats obtenus lorsque les secteurs sont regroupés.

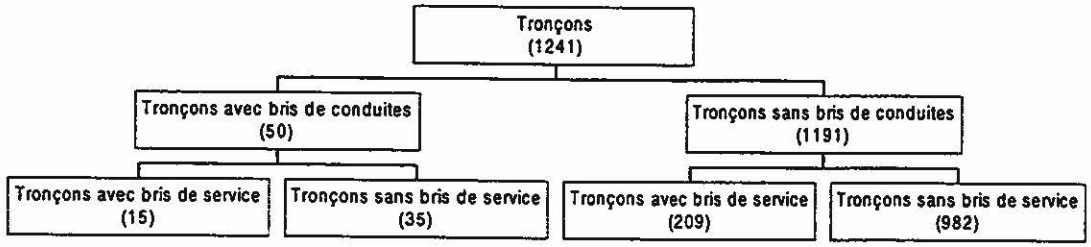


Figure 7-1 **Distribution des tronçons avec et sans bris de service.**

Tableau 7-1 **Répartition des bris de service pour les quatre secteurs de la région de Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce**

Nombre de bris de service	Total		Avec bris de conduites		Sans bris de conduites	
	Tronçons	Bris	Tronçons	Bris	Tronçons	Bris
1	168	168	12	12	156	156
2	38	76	2	4	36	72
3	11	33	1	3	10	30
4	5	20	-	-	5	20
5	1	5	-	-	1	5
6	1	6	-	-	1	6
Total	224	308	15	19	209	289

Tableau 7-2 **Comparaison du pourcentage de conduites avec et sans bris pour les quatre secteurs de la région de Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce**

Service	Conduites ayant bris sur conduites	Conduites sans de bris sur conduites
Avec bris sur service	30%	18%
Sans bris sur service	70%	82%

On remarque que le nombre de réparations sur les tronçons ayant au moins un bris de conduite et un bris sur service est près du double de celles qui n'ont pas de bris de conduite (30%-18%).

Un nombre de bris de service 1,3 (19bris sur 15 tronçons) peut être associé aux conduites ayant au moins un bris de service et un bris de conduite (30%des conduites). Nous pouvons ainsi considérer qu'il y a 0,4 réparation d'entrées de service par année sur les tronçons ayant des réparations sur les conduites (1,3x0,3=0,4).

Les interventions sur les quatre secteurs confirment le ratio de 80%-20% proposé. En effet, avec 57 interventions associées à des bris de conduites et 224 à des bris sur les entrées de services, on obtient bien un pourcentage d'interventions sur les bris de conduite de 20%.

Comme les pourcentages d'intervention sont représentatifs, il est possible de déduire les proportions de réparations.

BILBLIOGRAPHIE

[AQTE] AQTE et Environnement Québec, Les fuites dans les réseaux de distribution d'eau : problèmes et solutions, Guide Technique, novembre 1980, 66 p.

[AWWA-1] AWWA, Canadian Utility Profiles, American Water Works Association, The Creation of the Canadian Water Industry Data Base, septembre 1995.

[AWWARF-1] O'DAY, Kelly, Richard Weiss, Suzanne Chiavari et Dennis Blair, Water Main Evaluation For Rehabilitation/Replacement, Denver, Americain Water Works Association Research Foundation, 1986, 181 p.

[AWWARF-2] DEB, Arun, Yakir Hasit et Frank Grablutz, Distribution System Performance Evaluation, Denver, Americain Water Works Association Research Foundation, 1995, 120 p.

[AWWARF-3] KIRMEYER, Gregory, William Richards et Charlotte Dery mith, An assessment of Water Distribution Systems and Associated Research Needs, Denver, Americain Water Works Association Research Foundation, 1994, 90 p.

[BOSTON] SULLIVAN, John P., Leak detection and repair :Boston's conservation success story, Boston Water and Sewer Commission, Boston, MA.

[BRÉMOND] BRÉMOND, B., Programmation du renouvellement des conduites d'eau potable et d'assainissement – Apport des modèles statistiques, Dans : Neuvièmes entretiens du Centre Jacques Cartier – Colloque « Les nouvelles infrastructures urbaines à l'heure du développement durable ». Montréal, 1-4 octobre 1996.

[BRIÈRE] BRIÈRE, François, Distribution et collecte des eaux, Éditions de l'École Polytechnique de Montréal, 1994, p. 22.

[CLARK-1] CLARK, R.M., C.L. Stafford et J.A. Goodrich, Water distribution systems : A Spatial and Cost Evaluation, J Water Resour. Plan Man, 108(3) : 243-256, 1982.

[CLARK-2] CLARK, R .M., R.G. Eilers et J.A. Goodrich, Distribution System : Cost of Repair and Replacement, Dans : Proceedings of the Conference on Pipeline Infrastructure, B.A. Bennett (éd.), 428-440. Boston, 6-7 juin 1988. New York : American Society of Civil Engineers.

[CNRC-1] RAJANI, Balvant, Shelley McDonald et Guy Félio, Water Mains Break Data on Different Pipe Materials for 1992 and 1993, Conseil national de recherches Canada, août 1995, 11 p.

[CNRC-2] Partie de document fournie par Réjean Brousseau du CNRC/IRC sur les bris d'aqueduc en fonction des matériaux de la ville de Calgary et Washington.

[CWWA] Canadian Water and Wastewater Association, Municipal Water and Wastewater Infrastructure : Estimated Investment Needs 1997 to 2012, Canadian Water and Wastewater Association , avril 1997, p. 17.

[DATA EASE] Base de données DATA-EASE fournit par la ville de Montréal

[DES MOINES] MCMULLEN, L.D., Water Main Corrosion Internal and External, Des Moines Water Works, texte fourni par Réjean Brousseau (CNRC), juin 1997, 23 p.

[GATINEAU] ROY, Marcel (ville de Gatineau), Analyse des forces et méthodes d'évaluation de l'état des aqueducs en acier, Présenté à la Conférence régionale - Région Saguenay - Lac-St-Jean, 12 septembre 1996, 7 p.

[GOULTER] GOULTER, I.C., J. Davidson et P. Jacobs, Predicting Water-Main Breakage Rates, Journal of Water Resources Planning and Management, 119(4) : 419-436, 1993.

[HYDROPLUS] Hydroplus, Les réseaux, de d'adduction à la distribution, Hors-Série, décembre 1997.

[LAVAL] Document sur les débits distribués et les réparations effectuées sur le réseau d'aqueduc de la ville de Laval.

[MCGILL] Fédération canadienne des municipalités et Université McGill, Rapport sur les infrastructures urbaines au Canada, janvier 1996, 6 p.

[PROGRAMME PTI] Liste des remplacements de conduites d'aqueduc et d'égout depuis 1986 de la ville de Montréal, programme PTI.

[QUÉBEC] Conversation privée avec André Auger de la ville de Québec sur le taux de réparation annuel et le taux de remplacement des conduites d'aqueduc.

[RECENSEMENT] Statistique Canada, Profil des secteurs de recensement de Montréal, A, Statistique Canada, Catalogue 95 329, 1991.

[RODRIGUE] RODRIGUE, Stéphane, État d'un réseau d'aqueduc, Constat des bris et évaluation des causes probables (Jonquière), Journée technique provinciale AQTE, Drummondville, 16 novembre 1995, 11 p.

[SHAMIR] SHAMIR u. et C.D.D. Howard, An Analytic Approach to Scheduling Pipe Replacement, Journal of AWWA, Vol. 71, No. 5, pp. 248-258, mai 1979.

[SHERBROOKE] Document sur les débits distribués et les réparations effectuées sur le réseau d'aqueduc de et le remplacement de conduites de la ville de Sherbrooke.

[STE-FOY] Document sur les débits distribués et les réparations effectuées sur le réseau d'aqueduc de et le remplacement de conduites de la ville de Ste-Foy.

[TREMDEL] Groupe-Conseil Tremdel et MEF, Problématique des entrées de service en plomb, Direction des écosystèmes urbains, avril 1994, 28 p.

[USEPA] POWELL, George, Three dollars per day, Developing financial policies for the effective management of municipal water and wastewater systems, Facing the future environment and energy conference of Ontario, citation de USEPA par l'auteur, octobre 1995, p. 3.

[WALSKI] WALSKI, T.M. et A. Pelliccia, Economic Analysis of Water Main Breaks, Journal of AWWA, Vol. 74, No. 3, pp. 140-147, mars 1982.

American Society of Civil Engineers and Water Pollution Control Federation, Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 62, WPCF Manual of Practice No. FD-6, 269 p.

ANDREOU, S.A, Predictive Models for Pipe Failures and Their Implications on Maintenance Planning Strategies for Deteriorating Water Distribution Systems, Ph.D. Thesis, Cambridge, MA, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1985, 291 p.

ANDREOU, S.A., D.H. Marks et R.M. Clark, A New Methodology for Modelling Break Failure Patterns in Deterioratinf Water Distribution Systems : Application, Adv. Water Resourc, 10(3) : 2-10, 1987

ANDREOU, S.A., D.H. Marks et R.M. Clark, A New Methodology for Modelling Break Failure Patterns in Deterioratinf Water Distribution Systems : Application, Adv. Water Resourc, 10(3) : 11-20, 1987

AQUA RÉHAB, Réhabiliter les aqueducs sans excaver les voies publiques, Envirotech, juillet-août 1996.

Association Québécoise des Techniques en Environnement, Une histoire de l'eau au Québec d'hier à aujourd'hui, Supplément Sciences et techniques de l'eau, Vol 20, no 1, février 1987, 48 p.

BALHAUSEN, Michael, The use of data in a sewer information system, Water Management International.

BAKER, Harry et Peter Gauthier, Technologies sans tranchées au Canada, Guide des techniques courantes, Laboratoire d'infrastructures, IRC, 1992.

BENNIS, Saad et al, Développement d'un système d'aide à la décision pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement, Neuvième entretien du Centre Jacques Cartier : Les nouvelles infrastructures urbaines à l'heure du développement durable, Montréal, 1996.

BENNIS, Saad , Pascal Le Gauffre et Julien Malandain, La conduite du diagnostic des infrastructures urbaines de l'eau et de l'assainissement, Neuvième entretien du Centre Jacques Cartier : Les nouvelles infrastructures urbaines à l'heure du développement durable, Montréal, 1996.

BÉRIAULT, André et Georges Simard, Hydrogéologique de l'île de Montréal, Service des eaux souterraines, 1978, N° 0-43.

BERREBI, Roger et Serge Ledru, L'entretien du réseau d'assainissement : L'exemple de la Seine-Saint-Denis, Courants, N° 26, mars-avril 1994, p. 16 et s.s.

BOND, Richard, The effect of overhead AC power lines paralleling ductile iron pipelines. Ductile iron pipe news, aut-hiver 1996, p 14 et s.s.

BREMOND, Bernard, Mesurer le vieillissement d'un réseau d'eau potable, Courants, N° 26, mars-avril 1994, p. 21 et s.s.

BROUSSEAU, Réjean, La protection cathodique des conduites d'eau en fonte, une analyse économique, INF'EAU, AQTE, mai 1995, numéro 22.

BROUSSEAU, Réjean et Nathalie Chagnon, Corrosion : cause souvent ignorée des bris de conduites.

BRUNNER, Phyllis et Michael O'Neal, Brick Sewer Life Extended, Water/Engineering & Management, avril 1990, p. 30 et s.s.

BULLETIN, Infrastructure : estimation des besoins en investissement, Association Canadienne des eaux potables et usées, volume 11, n° 5, juin 1997, p. 2.

BULLETIN, Responsabilité municipale -- Alors, qu'est-ce qu'ils vont faire ?, Association Canadienne des eaux potables et usées, volume 11, n° 5, juin 1997, p.1.

Cast Iron Pipe Research Association, Handbook : Ductile Iron Pipe, Cast Iron Pipe, Cast Iron Pipe Research Association, 4ième édition, 1976.

CERIU, Identification et appréciation des méthodes de réhabilitation des infrastructures souterraines, Centre d'expertise et de rechercher en infrastructures urbaines, août 1997, 62 p.

CHARRETTE, Robert, Les normes ASTM pour évaluer la performance économique des investissements dans les infrastructures urbaines, Colloque du CERIU : Les infrastructures urbaines : piliers muets de la ville, 1996, p 155 et s.s.

CHESNOT, Christian, Des investissements records grâce à la privatisation, Hydroplus 67, spécial Grande Bretagne, octobre 1996.

CHEVALIER, Michel (ville de Gatineau), Entre la construction et la réhabilitation : Les systèmes d'information des travaux publics, Colloque du CERIU : Les infrastructures urbaines : piliers muets de la ville, 1996, p 279 et s.s.

Collection Systems Rehabilitation and O&M : Solving Today's Problems and Meeting Tomorrow's Needs, Colloque de la Water Environment Federation, 13 au 16 juillet 1997, Kansas City, Missouri

COTÉ, Bertrand et Pierre Lemieux (université de Sherbrooke), Développement d'un outil de diagnostic décisionnel pour la gestion des réseaux d'assainissement et de distribution d'eau pour les municipalités de taille moyenne, Semaine des infrastructures urbaines 1997 du CERIU.

DARRAS, M et F. Dubreucq, Gestion et diagnostic de l'état physique des ouvrages d'assainissement accessibles et non accessibles dans le Val de Marne, Colloque du CERIU: Les réseaux souterrains : Des malades à diagnostiquer, 7 et 8 décembre 1994, Montréal.

DEB, A.K. et al., Quantifying Future Rehabilitation Needs, Presented at the AWWA Annual Conference, Atlanta, juin 1997.

DEMARD, Hubert, Eau : quel est le vrai débat ?, La Presse, Vendredi 28 février 1997.

DENNIS, Tim (ville de Toronto), Planned maintenaance and rehabiliration of sewers in the city of Toronto, Colloque du CERIU : Les réseaux souterrains : des malades à diagnostiquer, 7 décembre 1994.

Departement of Transport, Air Services, Enginering, Planning, Design and Construction Manual, Section 1, Design and Evaluation of Flexible and Rigid Pavement. Ottawa, juillet 1969, chap. 4.

DESBIENS, M.E., La problématique des infrastructures urbaines : sa résolution par les voies de la méthodologie et de la technologie, Dans : Congrès annuel de la Société Canadienne de Génie Civil (SCGC), P. Labossière, R. Crysler et D.T. Lau, 37-43. Montréal : Société Canadienne de Génie Civil, 1997.

DESJARDINS, R, L. Jutras et M. Prévost, Évolution de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution de la ville de Montréal, Revue des sciences de l'eau 10(2), 1997.

DESJARDINS, Serge, Extrait de conférence sur la gestion d'un réseau d'aqueduc, Journée technique provinciale AQTE, Drummondville, 16 novembre 1995.

DRIVER, F.T, Manhole I/I stopped with Special Repairs, Water/Engineering & Management, avril 1983.

EISENBEIS, P. Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d'eau potable, Étude du Cemagref, 1994, 248 p. (Série Équipement pour l'eau et, l'environnement 17)

ELNABOULSI, J et O. Alexandre, Le renouvellement des réseaux d'eau potable : une revue critique, Can Water Resour. J.21(4) :341-354, 1996.

ENGLERTH, William, Gunite gives new life, The american city, juillet 1970.

GOODRICH, J.A., Drinking Water Distribution System Reliability : A Case Study, Dans : Proceedings of Water Forum '86 : World Water Issues in Evolution, M, Karamouz, G.R. Baumli et W.J. Brick, 1256-1263. New York, N.Y. : American Society of Civil Engineers, 1986.

GOULTER, I.C. et A. Kazemi, Spatial and Temporal Groupings of Water Main Pipe Breakage in Winnipeg, Can J Civil Eng, 15 :91-97, 1988.

Groupe Cartier, Utilisation du géoradar pour la détection de vides au voisinage de conduites souterraines, rapport d'étude remis au CERIU, mars 1997.

HAMMAD, Syed, Relining Techniques Lengthens Life of Old Brick Sewer, The civil Affairs, octobre 1992, p. 17 et s.s.

HERX, R.K., Aging Process and Rehabilitation Needs of Drinking Water Distribution Networks, Journal Water SRT-Aqua, Vol. 45, no. 5, pp. 221-231, 1996.

HUSSEIN H. Mohamad, Reinstatement of Utility Cuts : An innovative Solution to an old ploblem, Urban Road Research NRC/IRC.

IRC, Réparer ou remplacer ? L'IRC étudie les conduites corrodées, Innovation en construction, automne 1995, p. 12.

JACOBS, P. et B. Karney, GIS Development with Application to Cast Iron Water Main Breakage Rate, Dans Proceeding of the 2nd International Conference on Water Pipelin Systems, 1994, 53-62. Edinburgh, Scotland. BHR Group Ltd.

JACOBSON, Alvin, Environmental Wastes control digest, Public Works, juillet 1978, p. 94 et s.s.

JU, Gisa et al, Database facilitates long-term planning for sewer rehabilitation, Conférence : Sewer of the future, WEF, 10 au 13 septembre 1995, Houston, Texas.

KARAA, F.A. et D.H. Marks, Performance of Water Distribution Networks : Integrated Approach, Journal of Performance of Constructed Facilities, 4(1) :51-67, 1990.

KLEINER, Y., Water Distribution Network RehabilitationL Selection and Scheduling of Pipe Rehabilitation Alternatives, Ph. D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, 1996.

KNOTT, Graham, Priority Ranking for Sewer Rehabilitation and Maintenance, Technical Memorandum, Projet 7986, 23 mai 1995, 11 p.

KNOTT, Graham, Sewer Collection System Facilities Maintenance Plan, Task 4.0 : Condition Assessment, Technical Memorandum, Projet 7986-14, 28 juillet 1995, 30 p.

KOEPER, John et Lynn Osborn, Collapsing 96-inch sewer commands, Public works, novembre 1988, p.42 et s.s.

LADNER, Don, Water Data- WSIS Keeps it flowing, Colloque sur les techniques sans tranchée : Les réseaux souterrains : des malades à diagnostiquer, organisé par le CERIU, 7 et 8 décembre 1994.

LECLAIR, Michel, Gestion des plaintes – Demandes de la clientèle, Journée technique provinciale AQTE, Drummondville, 16 novembre 1995, 5 p.

MAKAR, Jon, Diagnostic Techniques for Cast Iron Water Mains and Brick Sewers – Progress Report, Draft for discussion only, CNRC, mai 1997, 25 p.

National Environmental Publications Information, Drinking Water Infrastructure Needs Survey : 1 st Report to Congress, 1995.

NORMAND, Jean-Pierre (Groupe Cartier), Texte sur le radar.

Oxford Water Services, Oxford City gets new trunk outfall sewer, Water Services, août 1980, p. 507 et s.s.

POWELL, George, Infrastructure sustainability pricing strategy, 1994 annual WEAO conference, Windsor, Ontario, avril 1994.

Résultat de recherche bibliographique sur la réhabilitation des conduites faites de maçonnerie, Jean-François Paradis, octobre 1996.

SALVAIL, Kenneth et Jay SCHROCK, Large-Diameter Brick Sewer Rehabilitation, Public Works, juillet 1994, p. 36 et s.s.

STADNYK, Michael, Rehabilitation : Extending infrastructure life, Western Canada Water, volume 49, no. 2, juin 1997, p. 12.

Textes du Colloque sur les infrastructures urbaines : Piliers muets de la ville, organisé par le CERIU, 2 au 6 décembre 1996.

Textes du Colloque sur les techniques sans tranchée : Les réseaux souterrains : des malades à diagnostiquer, organisé par le CERIU, 7 et 8 décembre 1994.

Water Research Center, Sewerage Rehabilitation Manuel, Vol 1 et vol 2, 3ièeme édition, 1994, ISBN-1898920 00 1.

UK Water Industry Engineering and Operations Commitee, Manuel of Sewer Condition Classification, Water Research Center, 3ièeme édition , août 1993, 77 p, ISBN 0-902156-89-6.

RÉFÉRENCE DE LA VILLE DE MONTRÉAL

Chart de débits et Rapport des tubes de Pitot fournis par Michel Aubé du service du génie, division aqueduc, de la ville de Montréal.

Chart de débit fourni par Robert Millette de l'usine Atwater.

Conversation privée avec Gérald Pelletier du Laboratoire de la ville de Montréal dur la durée de vie des chaussées et l'état général actuel des chaussées de la ville de Montréal.

Conversations privées avec les responsables des régions administratives de la ville de Montréal.

Conversation privée avec Michel Aubé du service du génie, division aqueduc, de la ville de Montréal.

Conversation privée avec Mohamad Osseyrane du service du génie, division égout, de la ville de Montréal.

Conversations privées avec Robert Millette de l'usine de filtration Atwater.

COREXCO, Étude de la corrosivité des sols de la ville de Montréal, préparé pour le CERIU, septembre 1997.

Demande de travail de la région Ville-Marie 1995.

Demande de travail de la région Ahuntsic 1995.

Demande de travail de la région CDN/NDG 1996.

DURAND, Michel, L'expérimentation de treize nouvelles technologies en matière d'auscultation et de réhabilitation des réseaux souterrains : le choix des propositions, Colloque du CERIU : Les infrastructures urbaines : piliers muets de la ville, 1996, p. 410 à 430.

Firme CEDEGER, Restauration des conduites d'eau et d'égout du Vieux-Montréal, juin 1993.

Firme CEDEGER, Restauration des conduites d'eau et d'égout du secteur Papineau, octobre 1993.

Fond de carte numérisée des chaussées fournie par la ville de Montréal.

Géologie des dépôts meuble-Île de Montréal, Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, N°1426A.

Index des plans d'égout de la ville de Montréal révisés en 1993;

Liste des remplacements de conduites d'aqueduc et d'égout depuis 1986, programme PTI.
Liste des annexions à la ville de Montréal, Quartier municipaux de Montréal depuis 1832, disponible aux archives de la ville de Montréal.
Liste des localisations des fuites, Fuites dépistées par le privé au 10/11/96
Liste des rues et regards inspectés (TV et Aquazoom).

Listing des réparations de la région de Ahuntsic, transmis par la région
Listing des réparations de la région de Villeray, transmis par la région
Listing des réparations de la région de Mercier, transmis par la région
Listing des réparations de la région de Ville-Marie, transmis par la région
Listing des réparations de la région de CDN/NDG, transmis par la région
Listing des réparations de la région de RDP/PAT, transmis par la région

Listing des types de chaussées par région pour la ville de Montréal fourni par Yves Martin du Laboratoire de la ville de Montréal.

MILLETTE, Robert, Évaluation des bénéfices reliés à une réduction des fuites d'eau, Ville de Montréal, Service des travaux publics, module eaux, novembre 1986.

Plan des conduites d'aqueduc des régions de la ville de Montréal;
Plan des réparations de la région du Sud-Ouest, transmis par la région
Plan des réparations de la région de Rosemont
Plan des réparations de la région du Plateau

Plan détaillé des conduites d'aqueduc des régions de la ville de Montréal;

Plan regroupant les conduites ayant une pente supérieure à 8% fournit par la ville de Montréal.

Programme triennal des travaux de remplacement de l'aqueduc, d'égout et de chaussée en date du 1 septembre 1995 fournit par la ville de Montréal.

Rapports d'inspection télévisé réalisés par la firme Aqua-Data , numéro de projet :
AD96-40202-007
AD95-4030-023

Rapport produit par les Consultants Monfette, Cyr, Millette et Associés, Horizon 2000, fournit par la ville de Montréal, p. 27.

Recueil des dates de pose de terrains, de dimension et de localisation par ordre alphabétique de rue ainsi que des conduites d'égouts construites avant 1945, 27 octobre 1969, fourni par Mario Lewis,.

Réparation des regards d'égout et des égouts, avril 1985.
Service des travaux publics et CIDEM-Communication, L'Eau a une source, CIDEM-Communication, Ville de Montréal, N° 075 0561-3, 32 p.

Service des Travaux Publics de Montréal, Politique d'épandage des fondants et des abrasifs, Division technique, Déneigement et projets spéciaux, Hiver 1996-1997, 19 p.