

PROJET DE RECHERCHE TECHNOLOGIQUE APPLIQUÉE

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

Rapport final : 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)

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

Sommaire exécutif

Septembre 1999

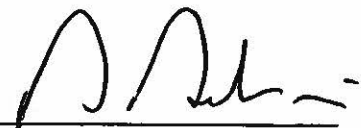
Ville de MONTRÉAL
Diagnostic des réseaux
Rapport final – section Aqueduc
Sommaire exécutif

(version finale du 1^{er} juin acceptée par le comité directeur)

Membres du comité directeur :



Jean-Pierre VILLENEUVE
Directeur INRS-Eau

Guy FELIO
Chercheur sénior CNRC

André AUBIN
Directeur associé STPE
Ville de Montréal

Serge POURREAUX
Directeur général CERIU

Pierre LAVALLÉE
Professeur invité INRS-Eau
Directeur délégué de l'étude Diagnostic

Ville de MONTRÉAL - Diagnostic des réseaux
Réunion du comité directeur du 25 mai 1999
et rencontres complémentaires de juin 1999
Relevé de décisions

En leur réunion du 25 mai 1999, et dans les rencontres complémentaires commandées par le comité directeur, les membres du comité directeur, représentant les parties signataires du protocole ayant conduit à la réalisation de l'étude Diagnostic conviennent de ce qui suit :

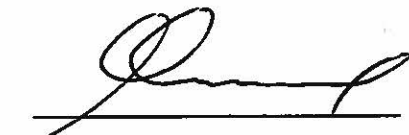
- d'accepter le sommaire exécutif déposé comme représentatif des débats et travaux de l'étude diagnostic (section Aqueduc), après correction et tel que la version finale du 1^{er} juin 1999 finalement approuvée par tous les représentants techniques et d'en autoriser la diffusion sous leurs signatures, sans engager autrement leurs responsabilités quant aux conséquences de l'utilisation de ce sommaire exécutif ou des données qu'ils contient;
- d'insister sur le besoin de : i) maximiser les efforts d'acquisition d'informations (diagnostic permanent); et ii) réviser à la hausse, à la fin de la dite période, les investissements à prévoir, si requis, conformément aux conclusions et recommandations exposées dans le sommaire exécutif;
- compte tenu des moyens déployés au cours du projet, de considérer le présent projet comme réalisé au mieux, et complété, en laissant le soin à la Ville de Montréal de poursuivre le diagnostic permanent de ses ouvrages de manière à disposer d'un plan d'interventions constamment remis à jour afin de stabiliser, voire améliorer l'état des ses infrastructures souterraines. Pour compléter les rapports sur l'état du réseau d'aqueduc qui seront transmis aux membres du comité directeur d'ici la fin juin, un extrait de la méthodologie générale sera présenté sous couvert séparé, et, dans la mesure où les sommes requises sont déposées à l'INRS-Eau ou son sous-traitant, on complètera l'analyse des résultats d'inspection spécifique du réseau d'égout.

Membres du comité directeur :


Jean-Pierre VILLENEUVE
Directeur INRS-Eau


Guy FELIO
Chercheur sénior CNRC


André AUBIN
Directeur associé STPE
Ville de Montréal


Serge POURREAUX
Directeur général CERIU


Pierre LAVALLÉE
Professeur invité INRS-Eau
Directeur délégué de l'étude Diagnostic

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE EXÉCUTIF	1
PRÉAMBULE	12
1. INTRODUCTION.....	14
2. NIVEAUX DE SERVICES SOUHAITABLES	15
3. GÉNÉRALITÉS - ASPECTS STRUCTURAUX	16
3.1. MISE EN SITUATION.....	16
3.1.1 Contexte général.....	16
3.1.2 Éléments spécifiques au projet.....	17
3.2 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE	18
4. RÉSEAU DE CONDUITES SECONDAIRES – ASPECTS STRUCTURAUX	19
4.1 L'ÉTAT ACTUEL DU RÉSEAU SECONDAIRE	19
4.1.1 Choix de l'indicateur de l'état du réseau.....	19
4.1.2 Facteurs influençant l'état d'une conduite	19
4.1.3 Une première image globale.....	19
4.1.4 Les variations du taux de réparations	20
4.2 TRONÇONS AYANT DÉPASSÉ LE SEUIL DE RENTABILITÉ DU REMPLACEMENT.....	24
4.3 TENIR COMPTE DES FUITES	24
5. ÉVOLUTION DE L'ÉTAT DU RÉSEAU SECONDAIRE -ASPECTS STRUCTURAUX.....	26
6. MÉTHODES D'ANALYSE - ASPECTS STRUCTURAUX.....	29
6.1 MÉTHODE 1 : REMPLACEMENT DES GROUPES DE CONDUITES À RISQUE	30
6.2 MÉTHODE 2 : SÉLECTION DES TRONÇONS-CRITIQUES	31
6.3 MÉTHODE 3 : ANALYSE DISCRIMINANTE DES GROUPES DE CONDUITES	33
6.4 MÉTHODE 4 : MODÉLISATION DE L'EFFORT DE RÉNOVATION	35
6.5 COMPARAISON DES MÉTHODES ET DES RÉSULTATS	37
6.6 RECOMMANDATIONS D'INTERVENTIONS	37
7. ÉQUIPEMENTS CONNEXES – ASPECTS STRUCTURAUX.....	39
7.1 ENTRÉES DE SERVICE	39
7.2 VANNES ET BORNES-INCENDIE	40
8. RÉSEAU PRIMAIRE - ASPECTS STRUCTURAUX	41
8.1 DESCRIPTION DU RÉSEAU	41
8.2 APPRÉCIATION GÉNÉRALE DE L'ÉTAT DU RÉSEAU	41
8.3 MÉTHODOLOGIE.....	42
8.4 RECOMMANDATIONS D'INTERVENTIONS.....	42
9. RÉSEAUX PRIMAIRES ET SECONDAIRES – ASPECTS FONCTIONNELS	43
9.1 ASPECTS QUANTITATIFS.....	43
9.1.1 Mise en situation.....	43
9.1.2 Réseau secondaire	43
9.1.3 Réseau primaire.....	44
9.2 ASPECTS QUALITATIFS	46
10. PROGRAMME PERMANENT DE DIAGNOSTIC	48
10.1 GESTION DE L'INFORMATION	48
10.2 DIAGNOSTIC PERMANENT	48
10.3 TOTAL REQUIS.....	49
11. BILAN DES BESOINS	50
12. PROPOSITION D'ORIENTATIONS BUDGÉTAIRES.....	50

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 4.1	RÉSUMÉ DES TAUX DE RÉPARATION SUR BRIS PAR RÉGION	20
TABLEAU 4.2	RÉSUMÉ DES TAUX DE RÉPARATION PAR RÉGION SELON LES PÉRIODES DE CONSTRUCTION (RÉP./100KM-AN)	21
TABLEAU 4.3	RÉSUMÉ DES TAUX DE RÉPARATION PAR RÉGION SELON LE DIAMÈTRE DES CONDUITES (RÉP./100KM-AN)	22
TABLEAU 4.4	RÉSUMÉ DES TAUX DE RÉPARATION PAR RÉGION SELON LE TYPE DE SOL (RÉP./100KM-AN)	23
TABLEAU 4.5	RÉSUMÉ DES TAUX DE RÉPARATION PAR RÉGION SELON LA CLASSE DE PRESSION (RÉP./100KM-AN)	23
TABLEAU 6.1	LINÉAIRE À RÉNOVER (KM)	35
TABLEAU 6.2	BILAN DES CALCULS DES EFFORTS DE RÉNOVATION	37
TABLEAU 6.3	BILAN DES LINÉAIRES À RÉNOVER ANNUELLEMENT DURANT CHAQUE PÉRIODE	38
TABLEAU 6.4	BILAN DES INVESTISSEMENTS À PRÉVOIR (RÉSEAU SECONDAIRE, ASPECTS STRUCTURAUX)	39
TABLEAU 8.1	DISTRIBUTION DE L'ÂGE DES CONDUITES PRINCIPALES	41
TABLEAU 8.2	PROGRAMME PROPOSÉ POUR LE RÉSEAU PRIMAIRE – ASPECT STRUCTURAL	43
TABLEAU 9.1	PROGRAMME PROPOSÉ SUR LE RÉSEAU SECONDAIRE- ASPECT FONCTIONNEL	44
TABLEAU 9.2	PROGRAMME PROPOSÉ SUR LE RÉSEAU PRIMAIRE- ASPECT FONCTIONNEL (MILLIER \$)	46
TABLEAU 11.1	BILAN DES INVESTISSEMENTS TOTAUX À PRÉVOIR SELON LES 3 MÉTHODES RETENUES	50

LISTE DES FIGURES

FIGURE 3.1	HISTORIQUE DU DÉVELOPPEMENT DU LINÉAIRE DES RÉSEAUX PRIMAIRE ET SECONDAIRE	17
FIGURE 5.1	NOMBRE DE RÉPARATIONS DE AHUNTSIC 1973-1997 (HORS CAMPAGNE DE RECHERCHE DE FUITES)	27
FIGURE 5.2	TAUX DE RÉPARATION DE AHUNTSIC 1973-1979	28
FIGURE 5.3	TAUX DE RÉPARATION DE AHUNTSIC 1980-1997	28
FIGURE 5.4	TAUX DE RÉPARATION DE AHUNTSIC 1973-1997, EXCLUANT LA PÉRIODE 1983-1987	29
FIGURE 6.1	ÉVOLUTION DU NOMBRE DE RÉPARATIONS DU RÉSEAU SECONDAIRE DE LA VILLE DE MONTRÉAL – HYPOTHÈSES HAUTE, MOYENNE, SEUIL	36

1. MISE EN SITUATION

Le diagnostic de l'état des réseaux d'aqueduc et d'égout de la Ville de Montréal a été réalisé en croisant plusieurs méthodologies ayant déjà été appliquées ailleurs en Amérique du Nord; on pourra ainsi mieux apprécier les résultats obtenus. Si on veut améliorer la précision du diagnostic de l'état des réseaux, le présent projet ne doit pas être un exercice ponctuel; au contraire, cela doit être le démarrage d'une activité récurrente d'auscultation et de diagnostic, réalisée annuellement.

Les objectifs de ce projet peuvent se résumer comme suit :

- Connaître l'état actuel des ouvrages;
- Sélectionner les méthodes d'auscultation les plus efficaces;
- Estimer les coûts des travaux de remplacement et de rénovation;
- Établir une planification évolutive des travaux à réaliser à court terme (0 à 5 ans), moyen terme (5 à 10 ans) et long terme (10 à 20 ans).

En attendant que la campagne d'auscultation du réseau d'égout, débutée en février 1998, ne soit complétée, on présente la conclusion des investigations réalisées sur le réseau d'aqueduc seulement.

Nous reconnaissons que la perpétuation d'un sous-investissement serait une faute grave, puisqu'elle entraînerait une hypothèque lourde sur les générations à venir. En conséquence, on doit cibler au plus près les investissements minimaux requis pour assurer la stabilité des infrastructures d'égout et d'aqueduc, mais ne jamais risquer de sous-estimer le dit seuil minimal.

2. QUALITÉ DE L'INFORMATION DISPONIBLE

Bien le plan de travail initial prévoyait le traitement d'informations structurées et archivées sous forme numérique, on a dû récupérer et valider l'information provenant directement des 9 régions opérationnelles du service des travaux publics, donc sous des formes diverses. Durant le projet, on a constitué une base de données permettant de traiter l'information, sur le réseau secondaire d'aqueduc en particulier (2 316 km de conduite en date du 31/12/96).

Pour diverses raisons, seules les années 1993 à 1996 étaient documentées sur l'ensemble du territoire. Cette série est en fait très courte; toutefois, compte tenu de la taille du réseau et du nombre de réparations (500 en moyenne par année sur l'ensemble du réseau, hors des interventions sur les entrées de service et hors campagne spécifique de détection de fuites), l'exercice de diagnostic demeure pertinent.

De manière empirique, on peut établir que la prédiction de l'évolution de l'état du réseau exige une rétrospective sur un historique d'au moins 10 ans; 1 seule région administrative possédait un historique crédible de 25 ans : Ahuntsic, qui est desservi par un réseau d'un peu plus de 300 km. Cette région, après analyse détaillée, possède heureusement des caractéristiques pouvant la rendre représentative de l'ensemble du territoire de Montréal, sous certaines conditions de transposition.

Nonobstant l'analyse des débits non expliqués qui a été réalisée pour l'ensemble du réseau, primaire (ou principal) et secondaire, et compte tenu du faible nombre d'interventions pour bris sur le réseau primaire, on a, dans le cas du réseau

d'aqueduc, investi nos efforts sur le diagnostic de l'évolution des réparation du réseau secondaire. Pour le réseau primaire, on utilisera en plus les connaissances et les analyses réalisées par les spécialistes de la Ville de Montréal sur les quelques 427 km du réseau qui sont caractérisés par des conduites de 350 mm ou plus.

Chaque tronçon a été décrit selon diverses caractéristiques : âge, diamètre, type de sol, type de voirie, pression interne, stress des fondants. Ceci afin de chercher des relations plus significatives entre l'état de détérioration observé et les paramètres explicatifs.

Puisqu'un exercice de diagnostic implique le croisement d'un maximum d'informations aux fins d'évaluation et de validation, on a aussi évalué l'ampleur des pertes non expliquées, pouvant être associées à des fuites sur le réseau, afin de confirmer indirectement l'état du réseau.

3. ÉTAT GÉNÉRAL DU RÉSEAU SECONDAIRE

Taux actuel de réparations

De manière générale, basé sur les réparations enregistrées de 1993 à 1996, le réseau secondaire de la Ville de Montréal se caractérise par un nombre annuel de réparations par 100 km de réseau égal à 19,6. Ce résultat est obtenu hors campagne spécifique de détection de fuites et traite l'ensemble du territoire uniformément. À ce taux, on doit ajouter les réparations normalement associées à des campagnes systématiques de détection de fuites (correction validée par les relevés de terrain de plusieurs villes, dont Ville de Laval); le taux annuel de réparations par 100km devient alors égal à 29,4 .

L'examen des résultats sectoriels montre toutefois que les territoires annexés de Ville St-Michel, Rivière-des-Prairies et Pointe-aux-trembles se caractérisent par des taux de réparations bien supérieurs, en fait d'au moins 30 % plus élevés que la moyenne du territoire. Ces secteurs devront faire l'objet d'une attention particulière.

Standards de comparaison

Les standards de comparaison établis par des organismes reconnus comme l'AWWARF (American Water Works Association Research Fondation) et le CNRC (Conseil National de la Recherche du Canada) sont des taux de réparations incluant les réparations découlant de campagnes régulières de détection de fuites. Ces taux standards varient de 16 à 19 réparations/100 km-an et se situe à 18,6 en moyenne (2 années de données) pour un échantillon de 23 villes canadiennes. Dans un effort pour catégoriser la qualité du réseau de la Ville de Montréal, il faut aussi tenir compte de l'analyse des débits de fuites ainsi que de la valeur calculée du taux de réparations (29,4 réparations/100 km-an dans le cas de Montréal. En conséquence, dans le cas de la ville de Montréal, on devrait à tout le moins rechercher à long terme (20 ans) un rétablissement du taux de réparations au seuil moyen des villes canadiennes (18,6).

Tronçons ayant dépassé le seuil de rentabilité du remplacement

Suite à une étude économique de rentabilité, et à partir des données disponibles, on a pu établir qu'un tronçon de conduite ayant un taux de réparations égal ou supérieur à 260 réparations/100 km-an doit être rénové (remplacé ou réhabilité).

Après étude de la période 1993-1996, on constate que 34,3 km du réseau secondaire ont un taux de réparations plus élevé que le seuil de rentabilité. Ce chiffre est significatif, mais cela représente tout de même moins de 1,5 % du linéaire total et la majeure partie de ces tronçons critiques se retrouvent dans les dites annexions récentes (St-Michel, RDP, PAT).

Analyse indirecte par le taux de fuites

De manière indirecte, le taux de fuites d'un réseau est un indice de son état de détérioration. Sur la base de l'étude des débits minimum (jour férié vers 5 heures du matin), Montréal a un débit minimum distribué per capita élevé, soit 750 L/j-pers. Sans l'établir comme un standard absolu, on considère qu'un débit minimum de 250 L/j-pers est un débit comprenant une part de fuites estimée à 20 % de la production totale. Sauf si des consommations industrielles ou institutionnelles très exceptionnelles sont démontrées, le débit minimum de Montréal est un indice d'un taux de fuites méritant des interventions correctrices, à identifier rapidement dans une étude complémentaire. De plus, de 1966 à 1988, ce débit minimum n'a cessé d'augmenter; heureusement, il semble s'être stabilisé depuis 1990. En 1996, suite à un effort particulier de réparations des fuites, il semble même avoir baissé significativement, ce qui confirme l'importance et l'efficacité de ce type d'interventions. Toujours sur cette base indirecte, des interventions immédiates sont justifiées, puisque selon nos analyses, le taux de fuites global sur le réseau se situe entre 40% et 50%.

4. ÉVOLUTION DE L'ÉTAT DU RÉSEAU

Si on peut identifier le taux de réparations prévalant en 1996 sur l'ensemble du territoire de la Ville de Montréal en analysant les résultats de la période 1993 à 1996, on se doit de faire une prédiction de la progression du taux de détérioration sur un horizon de 20 ans afin de planifier le rythme souhaitable des interventions de rénovation dans le futur. Rappelons que les interventions sur le réseau primaire n'ont que peu d'influence sur cette partie de notre analyse puisque les réparations sur celui-ci sont, en nombre, limitées puisque le réseau conserve son caractère fonctionnel malgré un taux de fuites pouvant être très élevé.

Une seule région, Ahuntsic, possède une courte chronologie exploitable des interventions réalisées sur le réseau secondaire. Cette série couvre la période 1973 à 1997. Cette série de données sur une période de 25 ans est relativement courte par rapport à la durée de vie utile supposée d'une conduite (disons 100 ans), mais des tendances peuvent en être déduites.

Dans le cas de la Ville de Montréal, la figure 1 présente le nombre de réparations effectuées sur le secteur Ahuntsic (linéaire total d'environ 285 km en 1973 et d'un peu plus de 300 km en 1997), de 1973 à 1997. De manière globale, on détecte des variations par périodes. Ainsi, de 1973 à 1979 (7 ans), on observe inter-annuellement une hausse du nombre des 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). On observe donc, de manière globale, une hétérogénéité de comportement assez atypique. Cette hétérogénéité devra être corrigée par l'effort de diagnostic permanent.

Puisqu'il est inutile de chercher une tendance à l'évolution des réparations sur une série hétérogène, nous avons choisi de considérer deux séries distinctes : 1973-1979 et 1980-1997. Pour chacune de ces deux séries, l'évolution des taux de réparations est respectivement de 5,42 % / an et de 3,77 % / an. Notons que si on considère la série 1973-1997 dans son ensemble (excluant la période 1983-1987), l'augmentation du taux de réparations serait de 0,90 % / an, caractérisée cependant par un r^2 très faible, 0,16. Plusieurs facteurs, entre autres reliés à l'hétérogénéité de l'information disponible, rendent cette hypothèse peu probable.

Le taux d'augmentation déduit de la série disponible pour Ahuntsic sera appliqué à l'ensemble du territoire de la Ville de Montréal aux fins de planification du niveau annuel de rénovation à réaliser. Pour une des 4 méthodes de calcul utilisées, on considérera ces trois hypothèses d'évolution des taux de réparations : une valeur de 0,90 % comme hypothèse « seuil » (basse); de 3,77 % comme hypothèse moyenne; et de 5,42 % comme hypothèse haute. Dans les 3 autres méthodes, les mêmes données sont utilisées, mais traitées selon des conventions différentes.

5. ÉVALUATION DE L'EFFORT DE RÉNOVATION DU RÉSEAU SECONDAIRE

Compte tenu de ce qui précède, on a représenté l'effort de rénovation par 4 méthodes distinctes (*l'identifiant en italique permet de reconnaître la référence à chacune des méthodes dans la suite de ce rapport*) :

1. Identification des groupes de *conduites à risque* devant être remplacés sur un horizon de 20 ans. Ces groupes sont sélectionnés sur la base des défauts observés durant la période 1993-1996 et l'effort de rénovation consiste à remplacer l'ensemble des conduites du même type que celles identifiées à risque. Cette méthode est globale et ne peut fournir qu'un indice de l'effort à réaliser;
2. Sélection sur l'ensemble du territoire des *tronçons critiques* ayant dépassé ou devant dépasser dans le prochain horizon de 20 ans le seuil de rentabilité du remplacement. Cette méthode permet de préciser distinctement les efforts à court terme et à long terme en tenant compte de la progression probable de l'évolution des conduites déjà fortement détériorées;
3. Analyse discriminante des *groupes de conduites* (CNRC, 1998), ayant des descripteurs homogènes, et validation du rythme optimal de remplacement de manière à établir l'effort de rénovation par groupe sur un horizon de 20 ans. Cette méthode permet d'identifier la durée de vie utile restante à un groupe de conduites spécifique, par exemple, un groupe caractérisé par des petits diamètres, installé dans des sols argileux, datant de la période 1950-1959. Elle permet donc aussi de discriminer l'effort de rénovation à faire à court, moyen et long terme;
4. *Modélisation* de l'effort de rénovation compensant la progression du taux de réparations (3 hypothèses : seuil minimum, moyenne, et haute) et permettant de rétablir le dit taux au niveau de l'objectif (moyenne des villes canadiennes, soit 18,6 réparations/100 km-an). Cette méthode a été appliquée en considérant un effort moyen de rénovation constant sur 20 ans.

Les résultats comparés de ces diverses méthodes de calcul du taux optimum de rénovation ont donné des résultats intéressants caractérisés par quelques écarts. Le

tableau 1 fournit l'ensemble des résultats. L'effort de rénovation est exprimé en % du linéaire total à rénover en moyenne annuellement sur un horizon de 20 ans.

Tableau 1 Bilan des calculs des efforts de rénovation

<i>No de la méthode</i>	<i>Identifiant</i>	<i>Effort de rénovation</i> % du linéaire total / an
1	<i>conduites à risque</i>	0,64
2	<i>tronçons critiques</i>	0,39
3	<i>groupes de conduites</i>	0,67 à 0,71
4	<i>modélisation – seuil</i>	0,29
	<i>modélisation – moyenne</i>	0,67
	<i>modélisation –haute</i>	0,97

De l'ensemble de ces résultats, on doit tenter de recentrer la gamme des résultats possibles. En tenant compte des simulations faites dans la méthode 4 (seuil) et des résultats obtenus dans la méthode 2 (réputée comme ayant tendance à sous-estimer l'effort réel de rénovation à prévoir), on déduit que le taux de rénovation du réseau devrait être au minimum de 0,39 % du linéaire par an, et non de 0,29 %. Mentionnons qu'un effort de rénovation à hauteur de 0,5 %/an représente une espérance de vie des conduites de 200 ans, ce qui est rarement vu.

Une seule méthode d'évaluation, la méthode 3, a permis une discrimination des groupes de conduites afin d'apprécier plus justement, et non de manière intégrée, l'effort de rénovation à réaliser. Ce qui veut dire que les investissements peuvent être répartis non uniformément dans le temps : il est en fait reconnu qu'une intervention agressive à court terme est généralement plus rentable à long terme (voir tableaux 2 et 3). Les résultats obtenus ont permis d'établir que sur une période de 20 ans, en moyenne, de 0,67 à 0,71 % du linéaire du réseau devrait être remplacé par année. Ces résultats sont de même amplitude que ceux évalués par la méthode 4 (0,67%/an) si on considère l'hypothèse moyenne. Compte tenu de la méthodologie retenue et malgré certaines limites inhérentes à la qualité et à la quantité des informations disponibles, la méthode 3 est celle réputée être la plus valable. De manière absolue, le taux de remplacement à prévoir peut sembler élevé ; toutefois, il faut comprendre que ces résultats sont probablement conservateurs puisqu'ils sont encore bien en dessous des prévisions réalisées par l'INRS-Eau pour l'ensemble des villes du Québec. Dans une étude réalisée en 1997 et commanditée par le MAM, le taux de rénovation à prévoir en moyenne pour les villes du Québec est de 1,1 % du linéaire / an et ce, pour les 20 prochaines années.

Synthèse des résultats

Le tableau 2 fait la synthèse des efforts de rénovation exprimés en kilomètre de conduites à rénover par an selon chacun des scénarios d'intervention proposés,

pour le réseau secondaire seulement. La présentation des résultats a été ajustée au dixième de kilomètre près. On ne présente les résultats que des méthodes 2 à 4.

Tableau 2 Bilan des linéaires à rénover annuellement durant chaque période

Méthode	0 – 5 ans	5 – 10 ans	10 – 20 ans	Total
2	13,7 km/an	8,0 km/an	8,0 km/an	188 km
3*	20,6 km/an	10,8 km/an	17,7 km/an	334 km
4 - seuil	7,0 km/an	7,0 km/an	7,0 km/an	140 km
4 - médian	16,1 km/an	16,1 km/an	16,1 km/an	322 km
4 - haut	23,3 km/an	23,3 km/an	23,3 km/an	466 km

*Moyenne des 3 distributions statistiques (voir rapport CNRC)

Le tableau 3 fait la synthèse des conséquences financières associées à chacun des scénarios d'intervention proposés pour le réseau secondaire seulement. Selon des hypothèses réalistes, on considère que le coût moyen de la rénovation d'un tronçon de conduite est de 650.\$ / m.linéaire. Il faut noter que l'on parle du coût par période et non de l'investissement annuel. Les coûts sont présentés au million de dollar près.

Tableau 3 Bilan des investissements à prévoir (réseau secondaire)

Méthode	0 – 5 ans	5 – 10 ans	10 – 20 ans	Total
2	44 M\$	26 M\$	52 M\$	122 M\$
3*	67 M\$	35 M\$	115 M\$	217 M\$
4- seuil	23 M\$	23 M\$	45 M\$	91 M\$
4 - médian	52 M\$	52 M\$	105 M\$	209 M\$
4 – haut	76 M\$	76 M\$	151 M\$	303 M\$

*Moyenne des 3 distributions statistiques (voir rapport CNRC)

6. AMÉLIORATIONS DU CARACTÈRE FONCTIONNEL DU RÉSEAU SECONDAIRE

On a identifié 180 cas de particularités fonctionnelles sur le réseau secondaire pouvant être problématiques. Après analyse de chacun de ces cas par les spécialistes de la Ville de Montréal, et rejets des cas déjà réglés ou faisant l'objet d'interventions sur les réseaux primaires, on ne note que très peu de problèmes de basse pression statique, de variations de pression ou de problèmes de protection incendie sur le réseau secondaire. On ne note pas non plus de problèmes particuliers de qualité de l'eau. Les investissements à prévoir ont donc été jugés faibles. Les investissements à réaliser sont évalués à 10 millions de dollars sur les prochains 20 ans (tableau 4).

Tableau 4 Bilan des investissements pour secondaire - fonctionnel

<i>Descriptif</i>	<i>0 – 5 ans</i>	<i>5 – 10 ans</i>	<i>10 – 20 ans</i>	<i>Total</i>
Secondaire – fonctionnel	1 M\$	4 M\$	5 M\$	10 M\$

7. INTERVENTIONS REQUISES SUR LE RÉSEAU PRIMAIRE

7.1 État structural et état fonctionnel

Après une analyse cas par cas par le Service des travaux publics et de l'environnement (S.T.P.E.) des secteurs les plus critiques en terme structural, on identifie que des travaux de rénovation doivent être planifiés sur près de 15% du linéaire dans les 20 prochaines années. Par ailleurs, les travaux de remplacement touchent 17 km de conduites, soit un taux de 0,2% par an. En combinant ce taux à la valeur de travaux de réhabilitation, nous obtenons un équivalent d'investissement correspondant au remplacement de 0,3% du réseau par année. Il faut noter dans ce calcul d'un remplacement égal à 0,3%/an, que le STPE a procédé, dans le cas des 430 km du réseau principal seulement à une analyse plus détaillée des défauts observées, et qu'en lieu et place de remplacements complets des sections en défaut, il a pu planifier des rénovations partielles tout en respectant les mêmes critères de performance.

En termes fonctionnels (pression, qualité de l'eau), l'état du réseau primaire est qualifié en général de satisfaisant par les spécialistes de la Ville de Montréal. Quelques secteurs peuvent avoir des problèmes de flexibilité d'opération. Après analyse des secteurs concernés, on identifie 21 projets qui doivent être inscrits dans une programmation de travaux. Le tableau 5 résume les investissements à prévoir pour le réseau primaire.

7.2 Débits de fuites

L'analyse des interventions à réaliser sur le réseau principal, telles que décrites dans la section ci-dessus, ne tient pas compte des interventions requises pour réduire les fuites existant sur des portions du réseau par ailleurs satisfaisant d'un point de vue structural et fonctionnel. Ces fuites sont significatives, de l'ordre de 25 % des débits produits, pour le réseau principal seulement, selon une évaluation faite de 1995 à 1998 par le STPE. Ce taux de fuites a été calculé après transposition sur l'ensemble du réseau du taux de fuites mesuré sur une conduite jugée représentative (1,6 km de longueur). Ces résultats ont été présentés en détails à la commission municipale lors des audiences tenues en octobre 1998.

Tableau 5 Bilan des investissements à prévoir pour le réseau primaire

<i>Descriptif</i>	<i>0 – 5 ans</i>	<i>5 – 10 ans</i>	<i>10 – 20 ans</i>	<i>Total</i>
Primaire – structural	19 M\$	12 M\$	13 M\$	44 M\$
Primaire – fonctionnel	14 M\$	10 M\$	13 M\$	37 M\$

8. EFFORTS RÉCURRENTS DE DIAGNOSTIC

Le présent exercice de diagnostic a permis de constituer une base valable d'informations sur l'ensemble du réseau secondaire.

Il est impératif de maintenir à jour cet inventaire et de procéder annuellement à des efforts récurrents d'auscultation et de diagnostic du réseau de distribution d'eau, y incluant des campagnes systématiques de recherche de fuites.

Les méthodologies de réalisation, ainsi que les modes de traitement permanents de l'information devront être constamment mis à jour et ajustés à la réalité mesurée.

Les budgets annuels indiqués au chapitre du diagnostic (tableau 6) comprennent des coûts initiaux d'installation de capteurs sur le réseau, des coûts d'installation de système de traitement de l'information, des frais récurrents de campagnes de détection de fuites, de saisie de l'information, de traitement de l'information et, ne comprend pas de coûts associés aux réparations de fuites par exemple.

Tableau 6 Bilan des investissements à prévoir pour le diagnostic

<i>Descriptif</i>	<i>0 – 5 ans</i>	<i>5 – 10 ans</i>	<i>10 – 20 ans</i>	<i>Total</i>
Diagnostic	10 M\$	4 M\$	8 M\$	22 M\$

9. BILAN DES BESOINS

Pour obtenir une vision la plus intégrée possible des besoins d'investissements, on peut référer au tableau 7 qui présente la somme des investissements requis pour les réseaux primaires et secondaires, aspects fonctionnel et structural, et y incluant les investissements requis pour assurer un diagnostic permanent. On présente la gamme des valeurs en tenant compte de toutes les méthodes et de tous les scénarios de progression du niveau de détérioration (tous scénarios), et en présentant la valeur médiane des résultats, soit le résultat ayant autant de valeurs plus hautes ou plus basses que ce résultat (médiane).

Tableau 7 Bilan des investissements totaux à prévoir selon l'ensemble des scénarios

Méthode	0 – 5 ans	5 – 10 ans	10 – 20 ans	Total
2	88 M\$	56 M\$	91 M\$	235 M\$
3	111 M\$	65 M\$	154 M\$	330 M\$
4 - seuil	67 M\$	53 M\$	84 M\$	204M\$
4 - médian	96 M\$	82 M\$	144 M\$	322 M\$
4 - haut	120 M\$	106 M\$	190 M\$	416 M\$
Tous scénarios	67 à 120 M\$	53 à 106 M\$	84 à 190 M\$	204 à 416 M\$
Médiane	96 M\$	65 M\$	144 M\$	322 M\$

10. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Compte tenu des données disponibles, et en tenant compte du fait que les évaluations des niveaux d'investissements ont été réalisées par au moins 2 méthodes complètement différentes, on peut conclure que les investissements à prévoir pour rénover le réseau de la Ville de Montréal devraient se situer à la borne supérieure de ce qui est présenté au tableau 7.

Les objectifs de rénovation seront atteints dans la mesure où un exercice continu et rigoureux de priorisation des travaux à réaliser sera débuté, et ce le plus tôt possible. En fait, le diagnostic permanent doit être l'effort prioritaire de la Ville de Montréal, dans la mesure où cet exercice permettra de vérifier plusieurs hypothèses établies en cours de projet quant à l'évaluation future de la détérioration du réseau.

En ce sens, la prochaine période de 5 ans est importante dans la mesure où elle permettra de :

- ❑ augmenter significativement le nombre et la qualité des informations disponibles quant aux interventions de réparations faites annuellement sur le réseau (de 500 à 700 par année) ;
- ❑ mettre à niveau les centaines de vannes et autres organes de contrôle sur le réseau; ces ouvrages étant requis pour isoler des sections de conduites, permettre les mesures, et surtout procéder efficacement au remplacement et rénovations requises;
- ❑ développer et mettre en place les procédures et habilités propres au diagnostic permanent des ouvrages, impliquant une constante actualisation des priorités d'intervention dans le but de maximiser le retour sur l'investissement des interventions réalisées;
- ❑ de valider les bénéfices obtenus par chaque type d'intervention; ces bénéfices devant être consécutifs à une réduction des débits de fuites, une réduction du

nombre des réparations à effectuer annuellement, et une réduction des contraintes d'opération suite à l'amélioration de l'entretien préventif.

Dans la logique de ce qui a été établi ci-dessus, le STPE a évalué que pour bien prendre la maîtrise de cette première période de 5 ans, il était difficile d'envisager des investissements annuels aussi élevés que 22 à 24 M\$ par an, pour la seule portion Aqueduc, sachant que des sommes importantes seront aussi consacrées à la rénovation du réseau d'égout.

En convenant que la maîtrise de cette première période de 5 ans est une garantie essentielle au succès de l'opération à long terme, et que les efforts de mise en place d'une telle programmation ne sont pas habituels, on peut convenir que la ville de Montréal devra:

- démarrer dès 1999 le programme de diagnostic permanent, ce qui permettra entre autres d'actualiser les données sur l'état du réseau et de valider le plus rapidement possible certaines hypothèses quant à l'évolution future prévisible de ce réseau;
- procéder dès 1999, et compléter le plus rapidement possible, la mise à niveau (réparations et modifications) des milliers de vannes installés sur son réseau de manière à ce que les interventions et les mesures puissent être réalisées sans défaillance, ni retard;
- investir un minimum de 15 M\$ / an et idéalement jusqu'à 24 M\$ / an pour la rénovation du réseau d'aqueduc, incluant le programme de diagnostic permanent de 2 M\$ / an, puisque ce niveau minimum d'investissement correspond au remplacement de 0,39 % du linéaire par an, seuil le plus bas obtenu par une des 4 méthodes d'évaluation des besoins en rénovation. Un minimum de 15 M\$/an se détaille en 2 M\$ pour le diagnostic permanent, 7 M\$ pour le réseau principal et 6 M\$ pour le réseau secondaire; cette répartition des investissements annuels pourra varier eu égard au résultats obtenus par les opérations Diagnostic;
- valider annuellement, à l'aide des modèles développés dans le cadre du présent projet (outils devant être améliorés et ajustés dès la première année), le niveau d'investissement souhaitable et les performances obtenues de manière à réajuster, au plus tard à la fin de la première période de 5 ans, le niveau d'investissement pour s'assurer d'atteindre les objectifs de performance et de rénovation présentés dans les sections précédentes

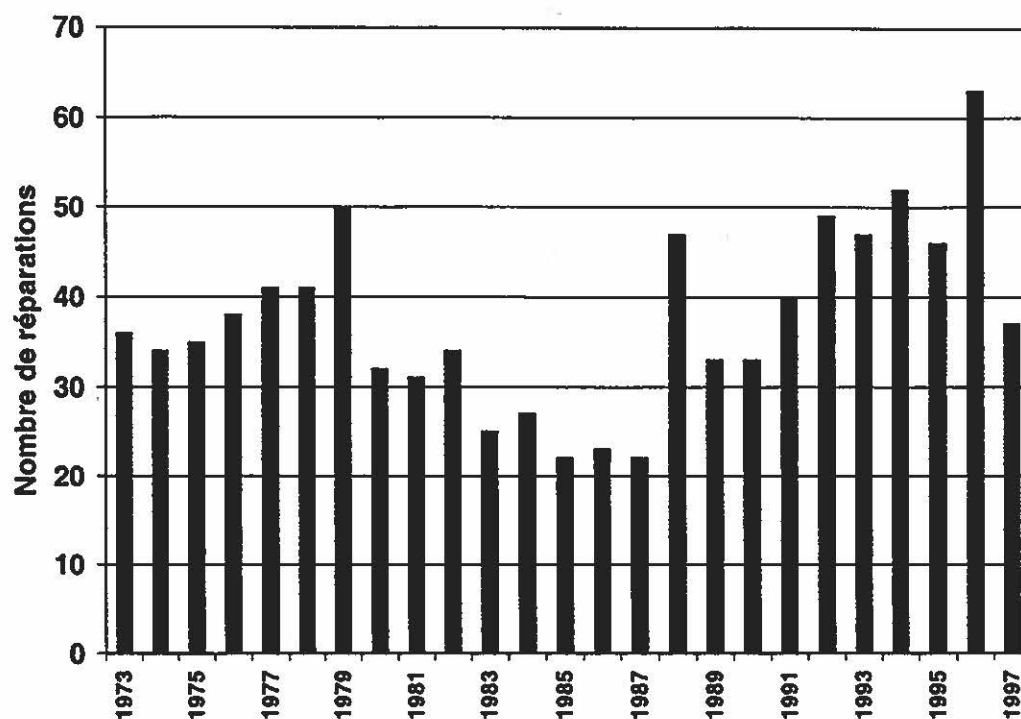


Figure 1 Nombre de réparations dans la région de Ahuntsic pour la période 1973 à 1997

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

Rapport final : Le réseau d'aqueduc

Septembre 1999

(Version non définitive)

PRÉAMBULE

En octobre 1996, la Ville de Montréal collaborait avec INRS-EAU, le CERIU et le CNRC à la mise en place d'un projet de recherche visant principalement à réaliser un diagnostic de l'état physique et du fonctionnement de ses réseaux d'aqueduc et d'égout, ainsi qu'à établir une planification évolutive permanente des travaux à réaliser à court terme (0 à 5 ans), moyen terme (5 à 10 ans) et long terme (10 à 20 ans).

Le diagnostic fonctionnel des réseaux a pu être mené à bien essentiellement à partir des informations disponibles. Par contre, la nature, la quantité et la qualité de l'information disponible relativement à l'état structural des réseaux ont conduit à des réaménagements importants dans la méthodologie, l'échéancier et le budget du projet. C'est ainsi :

- Qu'une campagne d'auscultation de l'état physique du réseau d'égouts a été initiée en septembre 1997 en complément au présent projet. Elle est actuellement en cours de réalisation. Les résultats de cette campagne seront analysés par la suite et feront l'objet d'un autre rapport;
- Que nous avons dû élaborer, pour le réseau d'aqueduc, une méthodologie permettant de tenir compte d'un niveau élevé de débits non expliqués (incluant les fuites). Notons que notre mandat ne portait pas spécifiquement sur une évaluation du débit des fuites.

Le présent rapport regroupe ainsi les **résultats des diagnostics fonctionnel et structural des réseaux primaire et secondaire d'aqueduc**, alors que les résultats en matière de réseau d'égout seront remis environ un mois après la réalisation de la campagne complémentaire d'auscultation de ce réseau.

Afin de permettre à la plupart des lecteurs de retrouver rapidement les éléments les plus importants, l'ensemble des informations et résultats intermédiaires ont été renvoyés en annexe. La structure de celle-ci est calquée sur celle du rapport principal.

Nous tenons à remercier les spécialistes de la Ville qui, par leur collaboration, ont fourni l'information et les connaissances nécessaires à la réalisation de ce projet. Ceux-ci sont listés aux pages suivantes.

**SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS ET DE
L'ENVIRONNEMENT**

Johanne Falcon
Gaston Moreau

Division des eaux
André Aubin

*Section plan directeur Aqueduc et
Égouts*

Section aqueduc-compteurs
Michel Aubé
Brigitte Dostie
Mario Lewis

Section égout
Mohamad Osseyrane
Jean-Paul Gobeil
Jean Schumph
André Larose
Mario Gagné
Robert Wilson
Sylvain Malo
Gilles Royer
Danielle Martin
Lan-Phuong Tran-Dang-Thi

Section PTI-Contrats
Michel Durand
Laval Bouffard

Section usine de Production – Eaux
Robert Millette
Claude Soly

Division de la voirie
Plan directeur Voirie
Richard Matteau
Claude Blain

Section Laboratoire

Martin Tremblay
Yves Martin
Michel Jacques
Gérald Pelletier

Section PTI-Contrats-Voirie
Antonio D'Addario

Arpentage
Jean Pellerin

Division opérationnels des travaux
publics et de la propreté

Ahuntsic/Cartierville
Denis Labbé

Villeray/St-Michel
Jean-Marc Brunet

Rosemont/Petite-Patrie
Normand Soulard

Mercier/Hochelaga/Maisonneuve
André Nobert

Plateau Mont-Royal/Centre-Sud
Jean Mercier
Raynald Ouimet

Ville-Marie
Marc-Aimé Gagné
Daniel Turcot

Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce
Daniel Fleury

Sud-Ouest
Claude Massicotte

*Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-
Trembles*
André Charbonneau

1. INTRODUCTION

Après avoir accordé beaucoup d'importance au développement de leurs réseaux d'aqueduc et d'égout pour satisfaire à une demande en service sans cesse croissante, de plus en plus de villes dans le monde se préoccupent maintenant beaucoup plus des infrastructures existantes qui vieillissent. Ce vieillissement affecte l'état physique des conduites et se traduit, pour l'utilisateur, par des bris d'aqueduc, des effondrements et des refoulements d'égout. Par ailleurs, lorsque le développement de la demande en service dépasse la capacité des ouvrages, il en résulte des problèmes fonctionnels comme des baisses de pression et des refoulements d'égout. Finalement, les problèmes reliés à la qualité de l'eau en réseau font également partie des préoccupations des villes.

Pour faire le point sur l'état des infrastructures et afin de prévoir les montants requis pour mettre à niveau les réseaux de distribution en eau et d'égout, une étude diagnostic des réseaux a été lancée en octobre 1996.

Les objectifs de ce projet peuvent se résumer comme suit :

1. Connaître l'état actuel des ouvrages;
2. Sélectionner les méthodes d'auscultation les plus efficaces;
3. Estimer les coûts des travaux de remplacement et de rénovation;
4. Établir une planification évolutive permanente des travaux à réaliser à court terme (0 à 5 ans), moyen terme (5 à 10 ans) et long terme (10 à 20 ans).

Le résultat ultime d'un travail de diagnostic devrait permettre de fournir les rendus suivants, et ce, après inventaire complet des ouvrages :

1. La liste des grandes priorités d'interventions et les budgets associés par période de 5 ans, pour un horizon 0 à 20 ans, en précisant si ces travaux sont urgents, de rénovation, ou de maintien;
2. La description des interventions récurrentes de suivi et de diagnostic des ouvrages;
3. La description de l'état structural des ouvrages, par catégorie d'ouvrages;
4. La description de l'état fonctionnel des ouvrages, par catégorie d'ouvrages;
5. L'identification des interventions de correction à réaliser sur les réseaux en spécifiant, à terme, le site, la nature du défaut, la méthode de correction, et le coût des travaux;
6. À terme, une base d'informations structurée sur les qualifiants de chaque ouvrage.

La méthodologie appliquée dans la présente étude correspond au niveau de réalisation décrit au point 1, soit une planification des investissements à prévoir pour réparer et mettre à niveau les réseaux d'aqueduc et d'égout. Puisque aucune méthode physique d'auscultation globale ne permet d'apprécier la vie résiduelle d'un réseau, des méthodes statistiques doivent être utilisées.

Le présent rapport ne comprend ainsi que les résultats relatifs au réseau d'aqueduc, alors que ceux se rapportant au réseau d'égout se retrouveront dans un rapport actuellement

prévu pour juillet 1998, soit au moins un mois après la fin de la campagne d'auscultation supplémentaire en cours.

On notera finalement que, suivant les références reconnues [AWWARF-1], les méthodes d'analyse utilisées en matière d'état structural global du réseau secondaire d'aqueduc sont basées sur la fréquence de réparation et non sur des modèles physiques de dégradation.

2. NIVEAUX DE SERVICES SOUHAITABLES

Le présent projet doit évaluer les investissements requis pour mettre à niveau les réseaux d'aqueduc et d'égout et pour les maintenir ainsi pour les prochaines décennies. En fait, il est établi que les réseaux doivent offrir un niveau de service acceptable, sans effort extraordinaire et récurrent de réparation. Les travaux nécessaires pour atteindre ce niveau de service sont étalés sur les 20 prochaines années. Par la suite, cet état devra être maintenu et devra assurer un fonctionnement adéquat des réseaux (hors extension pour desservir des développements nouveaux) et ce, en considérant la réfection et le remplacement des différents éléments en fonction de leur durée de vie spécifique. Un niveau de service raisonnable en aqueduc serait le suivant :

- Un réseau pouvant soutenir des pressions adéquates jusqu'à l'utilisateur final (de 40 à 90psi);
- Un réseau n'ayant pas, en moyenne, plus de 18,6 réparations/100 km-an (taux moyen observés sur 23 villes canadiennes [CNRC-1]), en considérant les bris détectés sur plaintes ou nuisances apparentes et les bris détectés dans le cadre d'un programme systématique de détection des fuites;
- Un réseau ayant, en moyenne sur l'ensemble du réseau, des fuites maximum de 10 à 15 m³/j-km et des débits minimums non expliqués inférieurs à 250 l/j-pers, tels que mesurés le jour de consommation la plus basse de l'année;
- Un réseau n'ayant pas de problème de qualité de l'eau délivrée à l'utilisateur;
- Un réseau pouvant fournir les débits incendie en tous points;
- Un réseau possédant au minimum la flexibilité pour éviter des interruptions de service sur un grand nombre d'abonnés (par exemple plus de 1,000 à 2,000 abonnés) sur une période de plus de 12 heures lors de bris sur au plus un ouvrage majeur du réseau primaire;
- Un réseau dont tous les équipements connexes (vannes, bornes-incendie, entrées de service) permettent une opération normale du réseau.

3. GÉNÉRALITÉS - ASPECTS STRUCTURAUX

3.1. Mise en situation

Nous aborderons d'une part dans ce chapitre le contexte général du réseau et de son exploitation et, d'autre part, les éléments plus spécifiques décrivant son état physique.

3.1.1 Contexte général

Le réseau secondaire (diamètre inférieur à 14 po) desservait, en 1996, 1 114 161 personnes et comprenait environ 2400 km de conduites, soit un peu plus de 2 m de conduite par personne desservie. Ce chiffre traduit bien la haute densité du territoire desservi. Les conduites en fonte grise représentent 75 % du linéaire total et l'âge médian se situe à 52 ans (figure 3.1), alors que la moyenne des agglomérations canadiennes se situe aux environs de 40 ans. On retrouve 2 périodes de fort développement, soit 1910-1919 et 1950-1959, ainsi que quelques annexions significatives relativement récentes (St-Michel, Rivière-des-Prairies, Pointe-aux-Trembles). On notera que la qualité des matériaux et, plus généralement des travaux, est réputée avoir été plus faible pour ces annexions que pour le reste du territoire de la Ville. Les sols sont relativement variés alors que l'argile, habituellement considérée comme plus agressive que les autres types de sols, ne se retrouve que sur 28 % du linéaire du réseau. On note également la présence de dalles de béton dans 80 % des chaussées.

Suivant les données obtenues, le nombre de réparation de bris sur conduite se situe actuellement aux environs de 500 par an. À un instant donné, il existe un lot de bris connus mais non réparés. Si ce stock augmente de façon significative d'une année à l'autre, il peut alors influencer les résultats de l'analyse. La rénovation (réhabilitation ou remplacement) des conduites du réseau secondaire se situait en moyenne, au cours des 10 dernières années, à 0,13 % du linéaire total. On notera cependant que les suggestions du Service des Travaux Publics se situaient plutôt à 2 ou 3 fois cette valeur. Si ce taux de 0,13 % était maintenu, le remplacement complet du réseau serait atteint sur un cycle de plus de 750 ans.

Sur le plan de la détection des fuites, les 9 régions comptent un total de 8 dépisteurs. En 1995-1996 la Ville a fait réaliser une campagne de détection systématique des fuites. Suivant les résultats qui nous ont été communiqués, 460 fuites ont été identifiées et 300 d'entre elles furent réparées dans la même année.

Le réseau primaire (diamètre égal ou supérieur à 14 po) totalise près de 445 km de conduites majoritairement en béton armé. L'âge médian de 47 ans (figure 3.1) est légèrement plus bas que celui du réseau secondaire, surtout à cause des conduites posées entre 1960 et 1979.

Toutes les informations relatives aux caractéristiques des conduites et à leur environnement étaient disponibles et la plupart d'entre elles ont pu être compilées. On notera par contre que, même si elles étaient disponibles, les informations relatives aux réparations du réseau primaire n'ont pas été compilées. Les spécialistes du Service des Travaux Publics et de l'Environnement (STPE) ont par contre pu, à partir de leurs connaissances, nous fournir une analyse des besoins de rénovation de ce réseau.

Dans les 2 cas (réseaux primaire et secondaire), la précision du diagnostic devra être améliorée par l'implantation d'une activité récurrente d'auscultation et diagnostic réalisée annuellement.

La seconde limitation est **qualitative**; elle est reliée à l'utilisation du nombre de réparations comme mesure indirecte de l'état du réseau. En effet, cette mesure est directement influencée par le niveau des activités de surveillance et de réparation du réseau, niveau qui a varié au cours de la période des 25 années. Ce problème fera l'objet d'une analyse particulière.

3.2 Méthodologie générale

Dans le domaine structural, la démarche proposée dans le projet présumait l'existence de fichiers informatiques de données regroupant, pour toutes les conduites, l'information relative aux réparations ainsi qu'aux caractéristiques des conduites et de leur environnement (sol, pression, etc.). Par la suite, une auscultation supplémentaire sur un échantillon représentatif devait permettre de compléter l'information. Finalement, les résultats devaient être généralisés à l'ensemble du réseau.

Après avoir inventorié les données disponibles, nous avons constaté les limites des fichiers informatiques en matière de réparation. Compte tenu du cadre budgétaire du projet, la démarche a alors été modifiée pour ajouter la saisie de l'information et la construction d'une base de données. Toute auscultation supplémentaire a ainsi été écartée. Il est important de noter que l'information disponible était archivée de manière non uniforme dans chacune des régions et que la validation a nécessité le travail de spécialistes seniors.

Dans le contexte évoqué plus haut, le réseau primaire a été analysé sommairement alors que toute l'information est concentrée sur les spécialistes de la Ville.

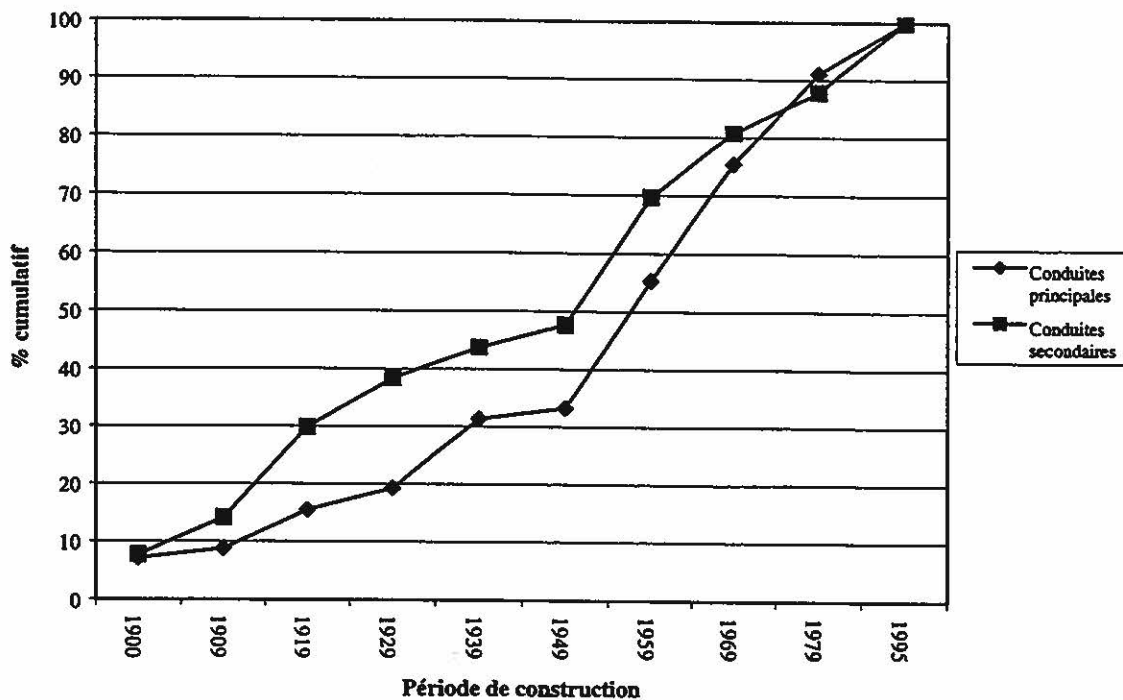


FIGURE 3.1 HISTORIQUE DU DÉVELOPPEMENT DU LINÉAIRE DES RÉSEAUX PRIMAIRE ET SECONDAIRE

3.1.2 Éléments spécifiques au projet

La **disponibilité quantitative et la qualité de l'information** ont dicté les choix méthodologiques et affectées directement la précision des résultats. La forme de ces informations (archives, fichiers papier ou informatique, etc.) affecte, quant à elle, les ressources nécessaires au projet.

Même si le plan de travail contractuel prévoyait un traitement de l'information à partir de fichiers en format numérique, il a fallu constituer les fichiers de base du projet ce qui, en déviation du plan, a mobilisé plus de 50 % des ressources du projet. Ces informations ont été montées sur un support Autocad établi à partir de la grille de chaussées établies par la Ville. De plus, le module ADE permet une gestion efficace de l'information ainsi structurée. L'ensemble a été remis aux spécialistes de la Ville.

Sur le plan de la **quantité**, le principal obstacle rencontré a trait à l'historique des réparations qui se limite à 4 ans pour l'ensemble des 9 régions. Il s'agit d'une limitation qui élimine en pratique toute possibilité d'étude directe de l'évolution temporelle du taux de réparation sur l'ensemble du territoire. Heureusement, il a été possible de reconstituer 24 ans de données pour les régions de Ahuntsic et Villeray-Saint-Michel. La région d'Ahuntsic possède des caractéristiques pouvant, sous certaines conditions, la rendre représentative de l'ensemble du territoire de Montréal. La combinaison de ces 2 groupes de données, 4 ans sur 7 régions et 24 ans sur les 2 autres régions, permet ainsi une analyse pertinente.

4. RÉSEAU DE CONDUITES SECONDAIRES – ASPECTS STRUCTURAUX

On examinera complètement le réseau de conduites secondaires alors que les équipements connexes (vannes, bornes-incendie, entrées de service) feront l'objet d'une brève analyse au chapitre 7.

4.1 L'état actuel du réseau secondaire

4.1.1 Choix de l'indicateur de l'état du réseau

Le **taux de réparation** exprimé en nombre de réparations annuelles par 100 km de conduite constitue l'indicateur généralement reconnu [AWWARF-1]. On comprendra qu'un taux élevé de réparation correspond à une conduite en mauvais état. On notera cependant que si certaines fuites ne sont pas réparées, le nombre de réparations est alors plus faible, ce qui ne signifie pas que le réseau soit en meilleur état. L'indicateur le plus précis serait donc le taux de bris et de fuite.

4.1.2 Facteurs influençant l'état d'une conduite

Le taux de bris augmente de façon exponentielle avec le temps [Shamir], [Walski], [Clark-1], [Clark-2], [Brémond], [Goulter]. D'autres facteurs, comme la qualité des matériaux ou de la construction et le caractère agressif du sol, le diamètre, la pression ainsi que l'intensité de la circulation automobile, peuvent également jouer un rôle [AWWARF-1].

Durant la période 1993-96, environ 10 % des tronçons ont été réparés au moins 1 fois. Ainsi, on ne sait pas si le premier bris enregistré sur un tronçon est le premier bris depuis sa pose, mais on sait qu'environ 20 % des tronçons ayant été réparés durant cette période de 4 ans l'ont été plus de 1 fois. Cette analyse sur une fenêtre courte est forcément imparfaite, mais elle contribue à ce que l'on considère comme valable la description théorique du phénomène de l'accélération des bris sur une conduite ayant subi un premier bris et ce, malgré le fait que l'analyse du secteur Ahuntsic prise isolément (période de 25 ans) ne confirme pas parfaitement la dite approche théorique.

4.1.3 Une première image globale

À partir des 4 années de données sur les 9 régions, le taux moyen de réparation sur bris pour les années 1993 à 1996 s'établit à **19,6 réparations/100 km-an**.

On serait tenté de comparer ce chiffre aux résultats du CNRC [CNRC-1] qui situe à **18,6 réparations/100 km-an**, la moyenne d'un échantillon de 23 municipalités canadiennes pour les années 1992 et 1993. De même, l'AWWARF [AWWARF-2] fixe comme objectif global des taux de l'ordre de **16 à 19 réparations/100 km-an**. Il faut cependant comprendre que ces chiffres portent habituellement sur l'ensemble des réparations (bris et fuites). Nous reviendrons plus loin sur la façon de tenir compte de cette nuance.

4.1.4 Les variations du taux de réparations

Les Services de la Ville ont relevé depuis longtemps des quantités de réparations élevées sur certaines parties du réseau, en particulier sur les conduites situées dans les territoires annexés plus récemment : secteurs Saint-Michel et Rivière-des-Prairies.

Notre analyse visait l'utilisation de toutes les informations disponibles pour expliquer les variations locales du taux de réparation moyen 1993-1996. Nous n'avons pas tenu compte des remplacements de conduite qui auraient été réalisés en 1996. Ceci influence à la hausse les taux que nous avons utilisés dans la mesure où les conduites ainsi remplacées pouvaient avoir connu plusieurs réparations.

a) Analyse par région

TABLEAU 4.1 RÉSUMÉ DES TAUX DE RÉPARATION SUR BRIS PAR RÉGION

Région	Réparation sur 4 ans	Longueur (km)	Rép./100km-an
	(A)	(B)	(A)/(B)/4*100)
Ahuntsic/Cartierville	249	308.7	20.2
Villeray/St-Michel	242	221.9	27.3
<i>Villeray</i>	66	121	13.6
<i>St-Michel</i>	179	101.9	43.9
Rosemont/Petite-Patrie	27	223.6	3.0
Mercier/Hochelaga/Maisonneuve	242	286	21.2
Plateau/Mont-Royal/Centre-Sud	138	202.2	17.1
Ville-Marie	182	192.2	23.7
Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce	224	360.9	15.5
Sud-Ouest	165	224.1	18.4
Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles	414	386.8	26.8
<i>Rivière-des-Prairies</i>	259	213.1	30.4
<i>Pointe-aux-Trembles</i>	155	173.7	22.3
Total	1883	2406.4	19.6

On relève que les régions de **Villeray/Saint-Michel et Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles ont des taux supérieurs** à la moyenne de la Ville d'au moins 20 %. Ceci confirme la perception des services de la Ville sur la fiabilité des réseaux dans ces régions. Si l'on pousse plus loin l'analyse et que l'on scinde encore ces 2 régions, les résultats sont les suivants :

- Le taux de 43.9 réparations/100 km-an du secteur Saint-Michel dépasse largement celui de Villeray avec 13.6 réparations/100 km-an, essentiellement développé par Montréal;
- Le secteur de Rivière-des-Prairies (30.4 réparations/100 km-an) dépasse celui de Pointe-aux-Trembles (22.3 réparations/100 km-an). Le premier secteur

comprend, entre autres, le boulevard Gouin dont les bris à répétition sont bien connus.

La région de **Ville-Marie** obtient également un taux élevé; on verra plus loin que l'on y retrouve la plus forte proportion de conduite du siècle dernier. La région de **Rosemont/Petite-Patrie** a un **taux de réparation très faible** qui n'a pu être expliqué, même après une nouvelle validation des données. Les données de cette région ont cependant été conservées pour analyse, introduisant ainsi une sous-estimation significative puisque la région compte un peu plus de 9 % du linéaire total de la ville.

b) Les périodes de construction (âge)

Sur l'ensemble du réseau, les conduites du siècle dernier et celles des décennies 1940-1949 et 1950-1959 présentent les taux les plus élevés. C'est cependant sous l'influence des régions Villieray/Saint-Michel et Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles que ces 2 décennies ressortent particulièrement. Si l'on exclut ces 2 régions, les conduites du siècle dernier présentent un taux supérieur de près de 50% à la moyenne des 7 régions restantes.

TABLEAU 4.2 RÉSUMÉ DES TAUX DE RÉPARATION PAR RÉGION SELON LES PÉRIODES DE CONSTRUCTION (RÉP./100KM-AN)

Période de construction	Ahuntsic/Cartierville	Villieray/St-Michel	Rosemont/Petite-Patrie	Mercier/Hochelaga/Maisonneuve	Plateau/Mont-Royal/Centre-Sud	Ville-Marie	Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce	Sud-Ouest	Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles	Total des 7 régions non annexées	Total des 2 régions annexées	Total des régions
0-1899	-	-	-	-	17	30	-	25	-	25	-	25
1900-1909	29	-	5	30	13	13	10	16	-	16	-	16
1910-1919	17	13	2	19	25	-	9	28	-	14	13	14
1920-1929	7	8	1	19	-	-	19	17	-	16	8	16
1930-1939	13	13	-	35	-	10	11	0	-	16	13	15
1940-1949	-	14	-	0	-	-	17	0	42	11	35	26
1950-1959	22	42	4	19	95	3	20	0	49	17	46	27
1960-1969	21	-	-	17	-	-	18	0	21	18	21	19
1970-1979	21	-	-	-	-	-	-	-	15	21	15	15
1980-1995	17	36	5	-	-	-	4	-	12	9	12	11
Total	20	27	3	21	17	24	16	18	27	17	27	20

On notera que c'est vers 1963-1965 que la fonte ductile a remplacé la fonte grise comme matériau de construction.

c) Le diamètre

Pour l'ensemble du réseau, les conduites de 6 et 10 po de diamètre obtiennent les taux de réparation les plus élevés. En excluant les deux régions annexées, seul le diamètre de 10 po ressort significativement. Par contre, les diamètres de 6 po et 10 po ressortent clairement dans le total des 2 régions annexées.

TABLEAU 4.3 RÉSUMÉ DES TAUX DE RÉPARATION PAR RÉGION SELON LE DIAMÈTRE DES CONDUITES (RÉP./100KM-AN)

Diamètre (po)	Ahuntsic/Cartierville	Villeray/St-Michel	Rosemont/Petite-Patrie	Mercier/Hochelaga/Maisonneuve	Plateau/Mont-Royal/Centre-Sud	Ville-Marie	Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce	Sud-Ouest	Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles	Total des 7 régions non annexées	Total des 2 régions annexées	Total des régions
6	26	53	0	31	25	36	12	2	101	18	65	36
8	19	15	4	22	15	17	16	17	22	16	20	17
10	18	19	3	5	24	46	18	62	117	23	44	27
12	23	19	3	20	11	35	13	19	18	17	18	18
Total	20	27	3	21	17	24	16	18	27	17	27	20

d) Le sol

Par rapport à la moyenne de l'ensemble du réseau, les sols de type tourbe et argile ressortent avec des taux supérieurs, alors que le roc présente un taux plus faible. En excluant les régions annexées, on peut remarquer que les conduites enfouies dans des sols argileux ont un taux qui ne dépasse que légèrement celui de l'ensemble du réseau, alors que le taux pour les sols tourbeux reste très élevé. Ainsi, on peut conclure que le problème des sols argileux est plus spécifique aux régions annexées.

TABLEAU 4.4 RÉSUMÉ DES TAUX DE RÉPARATION PAR RÉGION SELON LE TYPE DE SOL (RÉP./100KM-AN)

Type de sol	Ahuntsic/Cartierville	Villeray/St-Michel	Rosemont/Petite-Patrie	Mercier/Hochelaga/Maisonnette	Plateau/Mont-Royal/Centre-Sud	Ville-Marie	Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce	Sud-Ouest	Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles	Total des 7 régions non annexées	Total des 2 régions annexées	Total des régions
Argile	20	38	5	25	16	32	19	8	38	19	38	24
Roc	21	15	2	13	16	7	12	3	20	10	18	12
Sable	21	10	2	29	13	26	13	26	36	18	25	19
Till	18	27	2	17	28	16	17	15	18	17	21	18
Tourbe	35	62	0	18	-	47	-	13	21	27	37	32
Total	20	27	3	21	17	24	16	18	27	17	27	20

e) La pression

Les conduites ayant une pression interne supérieure à 550 kPa obtiennent des taux de réparation 30 % supérieurs à la moyenne de la ville. Par ailleurs, les conduites ayant de faibles pressions (< 400 kPa) ont des taux de réparation 30 % inférieurs au taux de réparation moyen de la ville.

TABLEAU 4.5 RÉSUMÉ DES TAUX DE RÉPARATION PAR RÉGION SELON LA CLASSE DE PRESSION (RÉP./100KM-AN)

Pression (kPa)	Ahuntsic/Cartierville	Villeray/St-Michel	Rosemont/Petite-Patrie	Mercier/Hochelaga/Maisonnette	Plateau/Mont-Royal/Centre-Sud	Ville-Marie	Côte-des-Neiges/Notre-Dame-de-Grâce	Sud-Ouest	Rivière-des-Prairies/Pointe-aux-Trembles	Total des 7 régions non annexées	Total des 2 régions annexées	Total des régions
275 et -	-	-	-	0	12	22	-	-	-	16	-	15
275 à 340	14	9	1	25	11	-	2	0	-	9	9	9
340 à 405	21	9	2	13	16	30	15	0	13	13	14	13
405 à 480	21	28	10	23	25	6	11	0	36	17	32	22
480 à 550	16	31	8	26	18	27	16	18	18	21	22	21
550 à 620	-	-	-	25	-	21	22	21	94	21	94	28
620 à 690	-	-	-	-	-	-	16	17	-	16	-	16
690 et +	-	-	-	-	-	36	16	58	-	29	-	29
Total	20	27	3	21	17	24	16	18	27	17	27	20

f) L'épandage de fondants

Les informations fournies par la Ville se limitent à l'identification des rues qui ont une pente supérieure à 8 %. Celles-ci reçoivent un épandage de forte intensité. Notre analyse fait ressortir un plus grand nombre de tronçons avec bris dans ces rues, mais présente un taux de réparations similaire à l'ensemble des régions.

g) Conclusion

D'une façon générale, la qualité de construction, l'âge, les sols, le diamètre, la pression et l'usage de fondants font partie des facteurs qui exercent une influence sur les taux de réparation. D'une façon plus particulière, nous retenons également que notre analyse devrait, dans la mesure du possible, considérer séparément les territoires annexés.

4.2 Tronçons ayant dépassé le seuil de rentabilité du remplacement

Suite à une étude économique de rentabilité, et à partir des données disponibles, il a été établi qu'il est plus rentable de rénover (remplacer ou réhabiliter par des méthodes assurant une pérennité semblable à celle du neuf) un tronçon de conduite ayant un taux de réparations égal ou supérieur à 260 réparations/100 km-an que de poursuivre les réparations. Après étude de la période 1993-1996, on constate que 34,3 km du réseau secondaire ont un taux de réparations plus élevé que le seuil de rentabilité. Ce chiffre représente moins de 1,5 % du linéaire total et la majeure partie de ces tronçons critiques se retrouvent dans les dites annexions récentes (St-Michel, RDP, PAT).

4.3 Tenir compte des fuites

Nous avons vu précédemment que les activités de recherche systématique de fuites peuvent influencer le nombre de réparations qui constitue notre indicateur de l'état du réseau. Nous avons donc été amenés à analyser les données disponibles sur les plus longues périodes en cherchant à identifier directement ou indirectement l'effet des campagnes systématiques. Pour ce faire, nous utiliserons l'information factuelle suivante :

- La campagne de détection 1995-1996 a identifié près de 460 fuites pouvant ainsi générer un surnombre de l'ordre de 100 % du nombre des réparations habituellement réalisées en une année sur tout le réseau;
- Pour référence, la Ville de Laval réalise une campagne systématique annuelle de détection et inspecte ainsi la totalité de son réseau au moins une fois par année. En 1995, 161 des 465 réparations effectuées sur les conduites originaient de cette campagne, alors que les 304 autres réparations ont été initiées par les autres moyens (eau en surface, plaintes, etc.). Le rapport entre le nombre de réparations

découlant de la campagne de détection des fuites et le nombre des autres réparations est ainsi de l'ordre de 1 à 2.

En première analyse, nous considérons qu'il serait excessif d'ajouter purement et simplement les 460 fuites détectées en 1995-1996 aux réparations déjà effectuées, car une partie de ces fuites aurait pu apparaître sous forme de bris au cours des années suivantes. On notera par contre que plusieurs limitations ont pu amener cette campagne à sous-estimer le nombre de fuites.

Ainsi, dans le cas de Montréal et pour les années où il n'y a pas eu de campagne systématique de détection des fuites, un surnombre de réparations égal à 50% du nombre de réparations enregistrées doit être ajouté. **Le taux de réparations pour la période 1993-96 doit être majoré de 50% et s'établit ainsi à 29,4 réparations/100 km-an.**

Par ailleurs, en analysant les débits de nuit distribués, nous avons cherché à établir s'il pouvait y avoir un indice de débits de fuites élevés [AWWARF-2] [AQTE]. Cet indice viendrait alors renforcer l'hypothèse de réparations en attente, faute de campagne de détection, et aussi confirmer la nécessité d'effectuer une majoration significative du nombre de réparations pour tenir compte de l'influence qu'aurait une campagne annuelle de détection de fuites. Nos principales conclusions sont les suivantes :

- Les débits de nuit minimums distribués aux jours minimums de Montréal sont de l'ordre 780 l/j-pers. À titre de comparaison, et sans l'établir comme standard absolu, les villes de Laval et Sainte-Foy ont des valeurs correspondantes de l'ordre de 250 l/j-pers incluant un débit de fuites calculé directement (Sainte-Foy) ou évalué précisément (Laval) de l'ordre de 20 % de leur production. Sauf si des consommations industrielles, commerciales ou institutionnelles sont démontrées, le débit minimum de Montréal est un indice d'un taux de fuites méritant des interventions correctrices, à identifier rapidement dans une étude complémentaire;
- On rappelle que l'AWWARF [AWWARF-3] établit l'objectif à atteindre pour le débit de fuites aux environs de 10 à 14 m³/jour-km de conduites. Basées sur de tels chiffres, les fuites sur l'ensemble du réseau devraient ainsi être actuellement de l'ordre de 18 à 25 l/j-pers;
- La situation s'est amplifiée depuis les années 1960 jusqu'à la fin des années 1980; elle semble stabilisée depuis. On note une amélioration sensible à la fin de l'année 1996 pour la zone 6. À cette période, le débit de nuit avait ainsi baissé de 55,000 m³/jour, soit près de 30 %, par rapport à la même période de 1995. Cette amélioration pourrait être attribuée à la campagne de détection de fuites 1995-1996 et aux réparations qui ont suivi dans cette zone. Ceci tend à confirmer la relation entre le nombre de réparations et le contrôle des fuites et renforce la justification de ce type d'intervention. On remarquera la même tendance à Laval depuis les campagnes systématiques de détection et réparation des fuites.

On notera que des cas de niveaux de fuites de l'ordre de 30 % à 50 % de la production ont déjà été documentés dans les années 1980 au Québec [AQTE]. Plusieurs de ces cas documentés ont d'ailleurs été réglés depuis. Boston, qui présente certaines similitudes avec Montréal (âge, densité, etc.), a également connu beaucoup de succès dans son approche [BOSTON].

5. ÉVOLUTION DE L'ÉTAT DU RÉSEAU SECONDAIRE - ASPECTS STRUCTURAUX

Si l'on peut identifier le taux de réparations prévalant pour la période 1993-96 sur l'ensemble du territoire de la ville de Montréal, on se doit de faire une prédiction de la progression de la détérioration des conduites afin de planifier le rythme souhaitable des interventions de rénovation dans le futur.

Afin d'utiliser le mieux possible le peu d'information disponible, nous avons utilisé 4 méthodes d'analyse différentes. Ces méthodes seront décrites au chapitre suivant. Nous décrirons chacune d'elles et comparerons les résultats pour établir une fourchette de prévisions d'immobilisations.

Comme 3 des 4 méthodes utilisées font appel à des prédictions basées sur l'analyse de l'évolution historique des réparations dans la région d'Ahuntsic, nous consacrerons un chapitre particulier à cette analyse avant de présenter les résultats des 4 méthodes.

Une seule région représentative, Ahuntsic, possède une chronologie de réparations de conduites suffisamment longue pour faire une analyse d'évolution (1973 à 1996) soit 24 ans. Cette série est quand même relativement courte par rapport à la durée de vie utile présumée d'une conduite (disons 100 ans). Par ailleurs, le nombre total de réparations de l'année 1997 nous a également fournis et sera utilisé.

La figure 5-1 présente le nombre de réparations effectuées sur cette région de 1973 à 1997. Son linéaire total était d'environ 285 km en 1973 et d'un peu plus de 300 km en 1997.

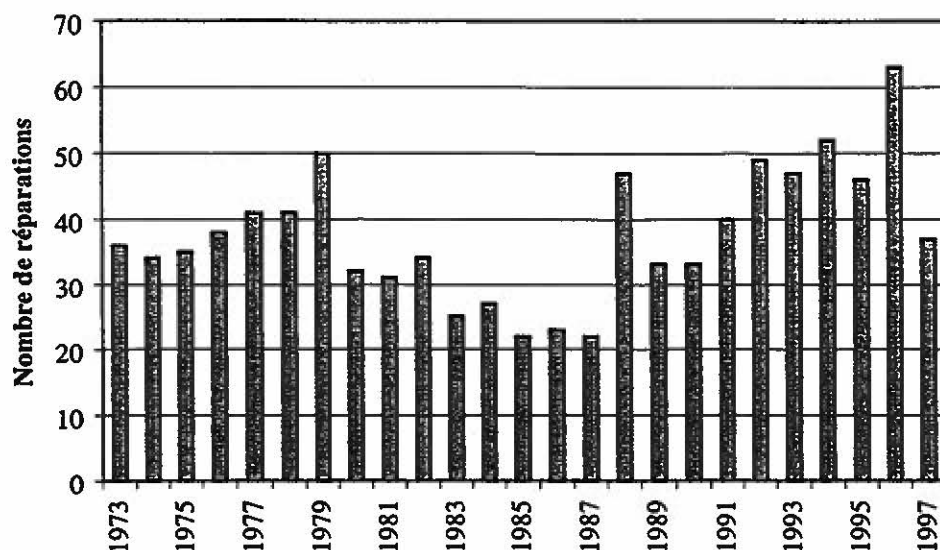


FIGURE 5.1 NOMBRE DE RÉPARATIONS DE AHUNTSIC 1973-1997 (HORS CAMPAGNE DE RECHERCHE DE FUITES)

De manière globale, on détecte des variations par périodes. Ainsi, de 1973 à 1979 (7 ans), on observe inter-annuellement une hausse du nombre des réparations; de 1980 à 1987 (8 ans), on observe une tendance générale à la baisse du nombre de réparations et, de 1988 à 1997 (10 ans), on observe une tendance générale à la hausse (lissage de 1996 et 1997 inclus).

On observe donc, de manière globale, une hétérogénéité de comportement assez atypique. Cette hétérogénéité devra être corrigée par l'effort de diagnostic permanent.

Puisqu'il est inutile de chercher une tendance à l'évolution des réparations sur une série hétérogène, nous avons choisi de considérer deux séries distinctes : 1973-1979 et 1980-1997. Pour chacune de ces deux séries, présentées aux figures 5-2 et 5-3, l'augmentation moyenne annuelle du taux de réparations est respectivement de 5,42 % / an et de 3,77 % / an.

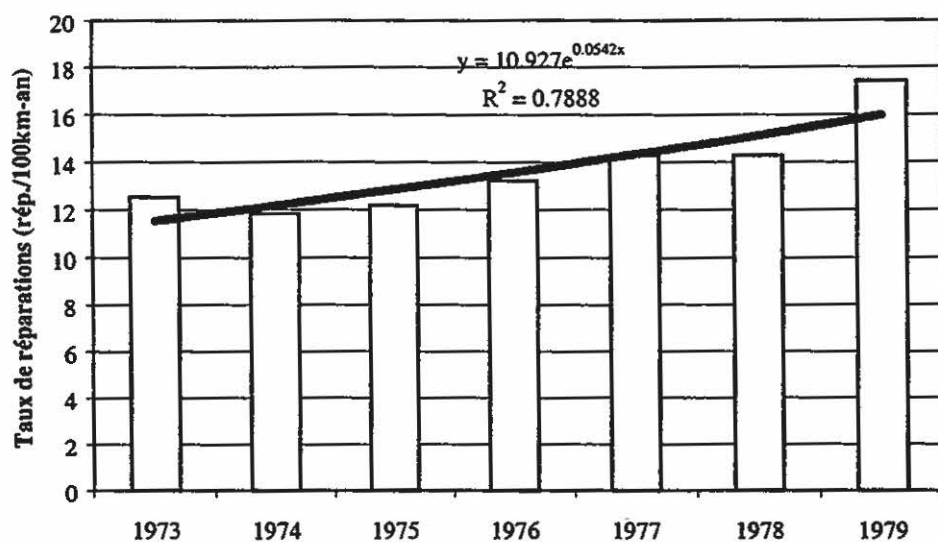


FIGURE 5.2 TAUX DE RÉPARATION DE AHUNTSIC 1973-1979

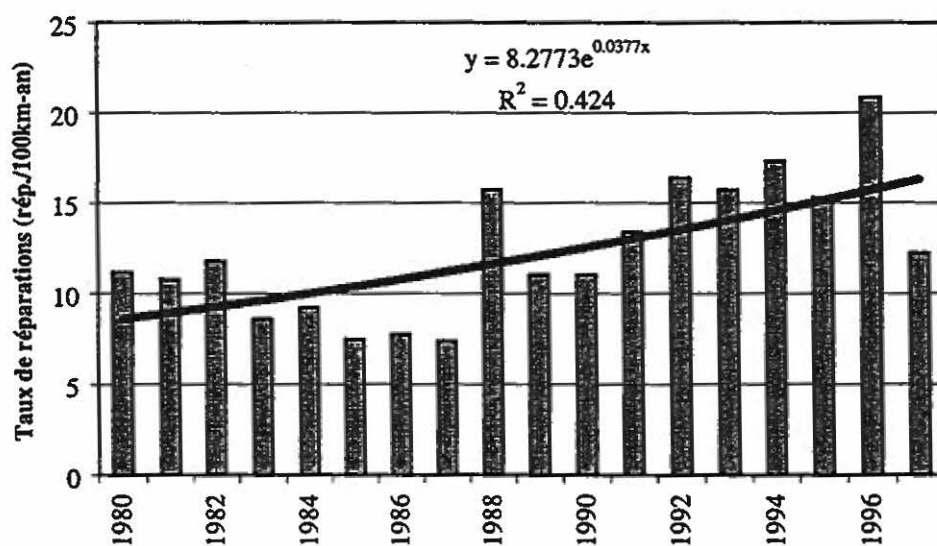


FIGURE 5.3 TAUX DE RÉPARATION DE AHUNTSIC 1980-1997

Notons que si l'on considère la série 1973-1997, en excluant les années 1983 à 1987 en raison de leur comportement erratique, le taux d'augmentation des réparations serait de 0,90 % / an, caractérisée cependant par un r^2 très faible de 0,16. Ces résultats sont présentés à la figure 5-4.

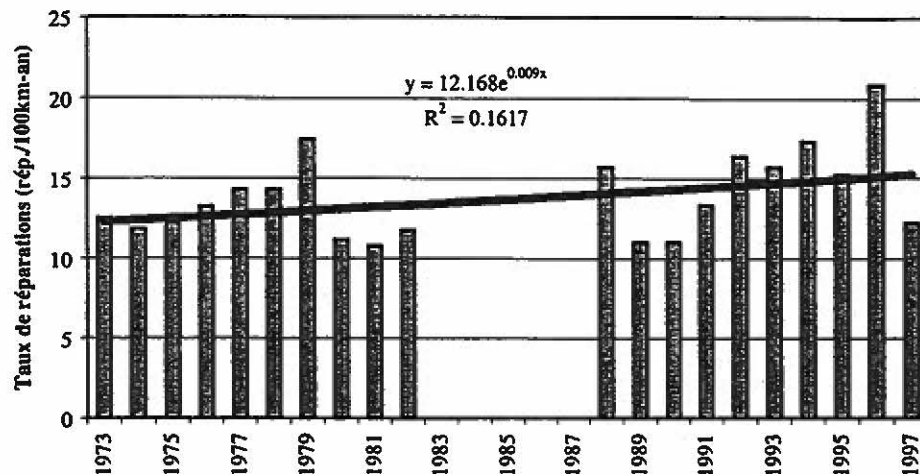


FIGURE 5.4 TAUX DE RÉPARATION DE AHUNTSIC 1973-1997, EXCLUANT LA PÉRIODE 1983-1987

Plusieurs facteurs, entre autres reliés à l'hétérogénéité de l'information disponible, rendent cette hypothèse peu probable. Elle ne devra être considérée qu'à titre de base de calcul de l'indice d'un seuil minimum d'interventions à réaliser dès maintenant et peu susceptible d'améliorer ou de stabiliser l'état du réseau à moyen terme.

Le taux d'augmentation déduit de la série disponible pour Ahuntsic sera appliqué à l'ensemble du territoire de la Ville de Montréal aux fins de planification du niveau annuel de rénovation à réaliser. Pour une des 4 méthodes de calcul utilisées (méthode 4), on considérera ces trois hypothèses d'évolution des taux de réparations : une valeur de 0,9 % comme hypothèse « seuil » (basse); de 3,7 % comme hypothèse moyenne; et de 5,4 % comme hypothèse haute. Dans 2 des 3 autres méthodes (méthodes 2 et 3), les données seront traitées selon d'autres conventions.

6. MÉTHODES D'ANALYSE - ASPECTS STRUCTURAUX

Compte tenu des limitations au niveau des données, nous avons utilisé et comparé plusieurs méthodes d'analyse visant toutes, par une approche statistique, à établir le linéaire de conduites à remplacer pour les horizons 0 à 5 ans, 5 à 10 ans et 10 à 20 ans.

4 méthodes différentes d'évaluation du niveau optimum de rénovation du réseau ont été considérées, soit :

- Identification des groupes de conduites à risques devant être remplacées sur un horizon de 20 ans afin de ramener le taux moyen de réparation de l'ensemble de la Ville au taux moyen des villes canadiennes soit 18,6 réparations/100 km-an. Cette méthode est globale et ne peut fournir qu'un indice de l'effort à réaliser;

- Sélection sur l'ensemble du territoire des tronçons critiques ayant dépassé, ou devant dépasser dans les 20 prochaines années, le seuil de rentabilité du remplacement. Cette méthode permet de préciser distinctement les efforts à réaliser à court et à long termes en tenant compte de la progression probable de l'évolution de la longueur totale des tronçons critiques;
- Analyse discriminante des groupes de conduites ayant des descripteurs homogènes (diamètre, âge, sol), et validation du rythme optimal de remplacement de manière à établir l'effort de rénovation par groupes sur un horizon de 20 ans. Cette méthode permet d'identifier la durée de vie utile restante à un groupe de conduites spécifique; par exemple, un groupe caractérisé par des petits diamètres, installés dans des sols argileux, datant de la période 1950-59. Elle permet donc aussi de discriminer l'effort de rénovation à faire à court, moyen et long termes;
- Modélisation de l'effort de rénovation compensant la progression du taux globale de réparations (3 hypothèses : seuil minimum, moyenne et haute) et permettant de rétablir ledit taux au niveau de l'objectif (moyenne des villes canadiennes soit 18,6 réparations/100km*an). Cette méthode a été appliquée en considérant un effort moyen de rénovation sur 20 ans.

Tout au long de l'analyse, nous ne manquons pas de recourir à des comparaisons avec des données et résultats provenant d'autres villes afin de tenter de compenser pour les limitations de nos propres données. Évidemment, les comparaisons ne peuvent se faire de manière absolue et le cas de Montréal peut être différent à certains égards.

Nous considérons que les données cumulées sont en nombre et en qualité suffisantes pour permettre d'apprécier les investissements à planifier pour permettre la rénovation et le maintien du niveau de services du réseau. Au cours des prochaines années, l'ajout d'information à la base de données permettra d'améliorer la précision des prévisions. Notons que, pour des fins de planification, nous avons utilisé, avec l'accord de la Ville, des coûts unitaire correspondant au remplacement des conduites. L'utilisation de méthodes de réhabilitation pourrait réduire ces coûts.

6.1 Méthode 1 : remplacement des groupes de conduites à risque

C'est une méthode élémentaire qui aurait été très pertinente si la Ville ne disposait pas des données depuis 1973 dans Ahuntsic. Elle est cependant présentée à titre d'élément de comparaison. Elle se limite ainsi à l'utilisation des données 1993-1996 sur l'ensemble du réseau secondaire et est essentiellement basée sur la variabilité observée dans les taux de réparation 1993-1996 entre les différents groupes de conduites et, en particulier, des taux plus élevés pour les annexions récentes.

Elle consiste à identifier les groupes de conduites à fort taux de réparations en considérant : les annexions, l'âge, les sols et les diamètres. Une fois ces groupes identifiés, on considère leur remplacement complet afin d'atteindre; sur l'horizon de 20

ans, un taux moyen de réparation de 18,6 réparations/100 km-an, soit la moyenne canadienne [CNRC-1]. Cette approche est évidemment très simplificatrice.

Pour comparer les résultats de la ville de Montréal obtenus hors campagne de détection systématique de fuites, nous corrigeons l'objectif à atteindre en le réduisant de 33 %, soit de 18,6 à 13 réparations/100 km-an. Cette réduction est tirée des résultats déjà démontrés obtenus à Laval. Cette méthode conduit ainsi au remplacement des groupes de conduites suivantes :

- Secteur Rivière-des-Prairies : 41 km de conduites correspondant aux conduites de 6 et 10 po de diamètre ainsi que les conduites installées de 1950 à 1959 et enfouies dans l'argile, le sable et le till (taux de réparation = 102 rép./100km-an);
- Secteur Saint-Michel : 56 km de conduites correspondant aux conduites de 6 po de diamètre (taux de réparation = 61 rép./100km-an);
- Région Sud-Ouest : 11 km de conduites correspondant aux conduites de 10 po de diamètre (taux de réparation = 61 rép./100-an);
- Région Ville-Marie : 58 km de conduites correspondant aux conduites de 6, 10 et 12 po de diamètre installées au siècle dernier (taux de réparation = 41 rép./100km-an);
- Secteur Pointe-aux-Trembles : 68 km de conduites correspondant aux conduites de 6 po de diamètre et aux conduites installées de 1950 à 1959 et enfouies dans un sol autre que le roc (taux de réparation = 36 rép./100km-an);
- Région Ahuntsic : 12 km de conduites correspondant aux conduites enfouies dans un sol tourbe (taux de réparation = 35 rép./100km-an);
- Région Mercier : 63 km de conduites correspondant aux conduites installées de 1900 à 1909 et celles de 1930 à 1939 (taux de réparation = 31 rép./100km-an).

Les autres régions ne requièrent aucune intervention et le taux moyen de l'ensemble de la Ville est alors ramené à 13,2 réparations/100 km-an. **Au total, 309 km (soit 12,8 % du linéaire total du réseau) sont ainsi remplacés sur 20 ans, soit une moyenne de 0,64% du linéaire par année.**

6.2 Méthode 2 : sélection des tronçons-critiques

Cette méthode est habituellement utilisée sur une base opérationnelle pour décider du remplacement d'un tronçon dont l'historique fait apparaître de nombreuses réparations [AWWARF-1]. Elle permet, pour ce tronçon, de comparer économiquement les valeurs actuelles de remplacement et de réparation. Nous l'avons utilisée de la façon suivante :

- Analyse des données de la région Ahuntsic :

Suite à la discussion présentée précédemment, la période 1980-1996 a été retenue en éliminant les réparations de 1996 attribuables à la campagne de détection de fuites 1995-1996. On notera que, pendant la période analysée, seules les conduites qui n'ont pas été remplacées ont été sélectionnées.

Pour la période 1980-1996 retenue, on étudie la progression des taux de réparation de l'ensemble des tronçons de la région sur des fenêtres de 4 ans (d'une façon similaire au traitement de type « moyennes mobiles »). Le taux ainsi calculé progresse de 5,5 % par an (modèle exponentiel).

Partant de là, nous pouvons calculer le taux critique 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 plus rentable de rénover que de continuer à réparer. Les données utilisées sont les suivantes :

- Coûts directs d'une réparation en 1997 : \$8,250; les coûts sociaux ne sont pas considérés;
- Coûts de remplacement 1997 : \$650/m;
- Période d'analyse : 25 ans; soit, d'après le Laboratoire de la Ville, le cycle normal de rénovation majeure de la chaussée;
- Taux d'actualisation : 4,5 %, soit la différence entre les taux d'intérêt et d'inflation;
- Progression du taux de réparation des conduites problématiques égal à celui mesuré pour le secteur Ahuntsic durant la période 1980-1996, soit 5,5 %/an, auquel on ajoute 0,5 %/an à titre du différentiel minimum pouvant exister entre le taux d'augmentation des réparations sur la moyenne des conduites et le taux d'augmentation sur des tronçons problématiques. Le taux annuel d'augmentation des réparations utilisé est donc de 6 %/an (exponentiel). Il est important de comprendre que le taux de progression des réparations tel que présenté dans cette méthode (5,5 %/an) est la moyenne des progressions calculées pour toutes les fenêtres de 4 ans de cette période (calcul des moyennes mobiles), soit la moyenne des taux calculés pour 1980-1983, 1981-1984, 1982-1985, 1983-1986,...,1993-1996 et non la progression telle que calculée dans la méthode 4, pour l'entièreté de la période 1980-1996; globalement, ce taux aurait été de 4,5 %/an au lieu de 5,5 %/an si on considère la période globalement.

Cet exercice permet de calculer le taux critique, qui s'établit à 260 réparations/100 km-an, et une progression exponentielle de 8,04 % de la longueur des tronçons critiques pour la période étudiée.

On notera que ce type d'analyse est sensible à la longueur des fenêtres. Comme nous devons absolument fixer cette longueur à 4 ans (pour permettre une transposition à l'ensemble du réseau pour la période 1993-1996), nous avons dû

procéder à une analyse particulière sur les tronçons courts (moins de 96 m) et sur les tronçons longs (plus de 96 m). On retrouvera plus de détails sur ces traitements en annexe du rapport.

- **Transposition à l'ensemble du réseau de la Ville**

La transposition est faite en évaluant en premier lieu la longueur des tronçons déjà critiques d'après les données 1993-1996 sur l'ensemble du réseau, puis en lui appliquant le rythme de croissance établi pour Ahuntsic.

➤ *Analyse des tronçons-critiques sur l'ensemble du réseau :*

À partir des données 1993-1996, on calcule que 34,3 km de réseau avaient, à la fin de 1996, un taux supérieur à 260 réparations/100km-an et étaient déjà critiques. Ce chiffre tient compte d'une analyse particulière des tronçons courts (moins de 96 m) et longs (plus de 96 m). Cette analyse permet de tenir compte du caractère limitatif de l'historique (4 ans seulement).

Suivant les résultats de Laval déjà présentés, nous augmentons ce chiffre de 17,1 km (ou 50%) pour tenir compte de l'incidence de campagnes de détection de fuites. Le linéaire déjà critique passe alors à 51,4 km, soit 2,1 % du linéaire total.

➤ *Prédiction de l'évolution :*

En transposant le rythme de croissance du linéaire critique observé sur Ahuntsic, ce linéaire passe de 34,3 km à 171,3 km en 20 ans. Si on considère une majoration fixe attribuable aux réparations sur fuites de 17,1km, le linéaire total remplacé en 20 ans s'établit ainsi à 188,4 km, soit une moyenne de 0,39% du linéaire total par an. On notera que, pour les 5 premières années, 68,4 km sont ainsi remplacés (soit 0,57% par an).

6.3 Méthode 3 : analyse discriminante des groupes de conduites

Comme la précédente, cette méthode a recours à une prédiction de l'évolution du taux de réparation basée sur l'analyse des données de la région Ahuntsic. Cette prédiction fait cette fois appel à une analyse par groupes de conduites (selon l'âge, les sols, le diamètre).

On calcule ensuite, pour chacun de ces groupes, une date optimale de remplacement suivant une approche similaire à la méthode précédente (approche économique) ainsi qu'une distribution des dates de remplacement des conduites du groupe autour de sa médiane. Finalement, les prédictions pour chacun de ces groupes sont par la suite appliquées à l'ensemble des conduites du réseau de la Ville.

- Analyse des données de la région Ahuntsic :

Les données sont corrigées pour tenir compte de la détection de fuites en réduisant de 40 % les réparations pour les années 1973-1979 et 1996. Deux tentatives ont été réalisées pour tenir compte de ce phénomène; les résultats sont donnés plus loin.

Les conduites sont rassemblées en 16 groupes suivant les critères d'âge, de sols et de diamètres. Pour chacun de ces groupes, on cale un modèle exponentiel sur les totaux cumulés de nombre de réparations pour les données 1973-1992. Le modèle est par la suite validé en lui faisant prédire, pour chaque classe, les réparations 1993-96 et en comparant ces prédictions avec les données réelles. Le modèle est par la suite calé sur toute la période 1973-1996.

On notera que les données 1973-1979 reçoivent une pondération réduite pour tenir compte de l'incertitude correspondant à la méthode retenue pour éliminer l'influence de la détection des fuites au cours de ces années.

Cette analyse permet, entre autre, de faire ressortir que certains groupes ont des valeurs initiales élevées et une progression lente, alors que d'autres ont, au contraire, des valeurs initiales faibles mais une progression très rapide (jusqu'à 19 % par an).

- Transposition à l'ensemble du réseau de la Ville :

Les modèles de chacun des 16 groupes sont par la suite appliqués à l'ensemble des conduites du réseau afin de prédire les réparations pour les années 1993-1996. Cette prédiction se révèle très bonne pour le nombre total de réparations, mais présente des imprécisions pour certains groupes de conduites, en particulier ceux qui sont sous-représentés dans Ahuntsic. Le modèle est alors appliqué pour prédire les réparations pour les prochaines années.

On notera que cette modélisation conduit à une progression annuelle de 3,9 % (exponentielle) du nombre total de réparations pour l'ensemble du réseau.

- Prévision des besoins de rénovation :

Pour chacun des 16 groupes de conduites, un calcul actuariel du même type que celui de la méthode précédente est appliqué. On notera cependant que la méthode retenue ne nécessite pas de définir de période d'étude. Ce calcul mène à définir la date optimale de rénovation pour l'ensemble du groupe. Pour le groupe ayant la croissance de réparation la plus rapide (19 % par an), cette date se situe en 2010 alors que, pour des progressions très lentes, cette date dépasse 2097.

Même si l'exercice théorique est terminé, il reste à répartir la rénovation des conduites du groupe autour de la date optimale correspondant à la médiane du groupe.

En se basant sur des travaux en cours de l'AWWARF, deux types de distribution sont calés et mènent ainsi aux résultats suivants.

TABEAU 6.1 LINÉAIRE À RÉNOVER (KM)

0-5ans	6-10 ans	11-15 ans	16-20 ans	Total
101 à 125	49 à 50	70 à 77	89 à 100	317 à 344

Au total, 13,2 à 14,3 % du linéaire total du réseau sont ainsi rénovés sur 20 ans (ou 0,66 à 0,71% par an en moyenne). Pour les 5 premières années, le remplacement devrait être de l'ordre de 0,8 à 1,0% du linéaire par année. Ces résultats ne tiennent pas compte des réparations sur fuite.

Deux tentatives ont été réalisées pour tenir compte de l'impact de l'augmentation du nombre de réparations attribuable aux fuites. Les résultats font apparaître :

- Dans les 2 cas, une augmentation de l'ordre de 20% des besoins de remplacement pour les 5 premières années. Nous retiendrons donc cette majoration;
- Des besoins totaux de remplacement sur 20 ans qui varient autour des chiffres déjà établis (l'un supérieur, l'autre inférieur). Nous retiendrons donc le chiffre original.

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

Cette méthode utilise les 3 scénarios de croissance du taux de réparations calculé au chapitre 5 pour Ahuntsic. Ces scénarios sont appliqués à l'ensemble du réseau et l'on cherche à établir le remplacement nécessaire pour ramener le taux de l'ensemble de la Ville à une valeur de référence de 18,6 réparations/100 km-an, soit la moyenne canadienne.

- Analyse des données historiques de la région Ahuntsic :

Les 3 scénarios établissent la croissance annuelle du taux de réparations à 0,90% (hypothèse seuil), 3,77% (hypothèse moyenne) et 5,42% (hypothèse haute).

La figure 6-1 présente l'évolution du taux de réparation selon les trois hypothèses.

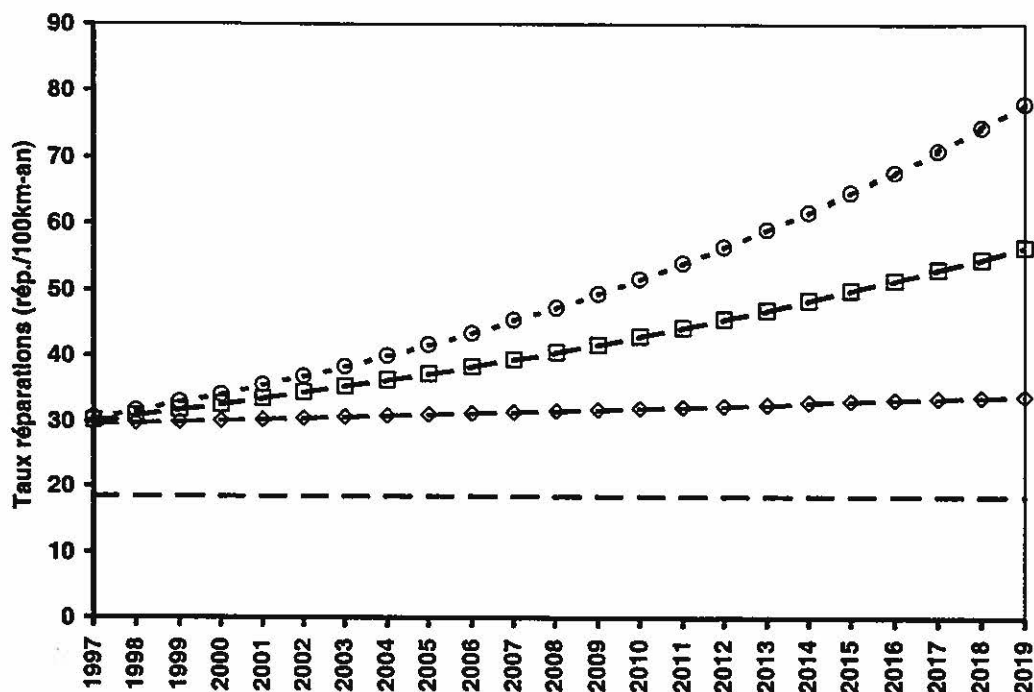


FIGURE 6.1 ÉVOLUTION DU NOMBRE DE RÉPARATIONS DU RÉSEAU SECONDAIRE DE LA VILLE DE MONTRÉAL – HYPOTHÈSES HAUTE, MOYENNE, SEUIL

- Transposition à l'ensemble du réseau de la Ville et niveaux d'intervention requis :

Selon chacune des trois hypothèses de progression des taux de réparation, les besoins d'intervention ont été modélisés pour ramener en 20 ans les taux de réparation de l'ensemble de la Ville à ceux de la moyenne des villes canadiennes, soit un objectif de 18,6 réparations/100 km-an. La valeur initiale du taux est fixée à 29,4 réparations/100 km-an pour l'année 1996, soit la valeur observée (19,6) majorée de 50 % pour tenir compte des fuites. Par la suite, le taux de réparations progresse exponentiellement sur la base de la valeur observée (ce qui implique que les réparations associées à la détection des fuites restent stables inter-annuellement). Les conduites remplacées sont supposées avoir atteint le taux critique calculé dans la méthode 2, soit 260 réparations/100 km-an. La progression du taux de réparation est effectuée en tenant compte, chaque année, du linéaire de conduite remplacé.

Pour chacun des 3 scénarios, le remplacement annuel, exprimé en pourcentage du linéaire total, est fixe et s'établit respectivement à 0,29 %, 0,67 % et 0,97 %, selon que l'on considère les hypothèses seuil, moyenne ou haute d'augmentation des réparations.

6.5 Comparaison des méthodes et des résultats

Les principes retenus pour chacune des 4 méthodes exploitent différemment les données disponibles.

Sur la base du linéaire moyen remplacé sur 20 ans, les méthodes donnent les résultats suivants :

TABLEAU 6.2 BILAN DES CALCULS DES EFFORTS DE RÉNOVATION

No de la méthode	Identifiant	Effort de rénovation sur 20 ans
		% du linéaire total / an
1	<i>conduites à risques</i>	0,64
2	<i>tronçons critiques</i>	0,39
3	<i>groupes de conduites</i>	0,66 à 0,71
4	<i>modélisation – seuil</i>	0,29
	<i>modélisation – moyenne</i>	0,67
	<i>modélisation – haute</i>	0,97

Il faut se rappeler que la méthode 1 permet seulement de présenter les groupes d'intérêt. Pour ce qui est des méthodes 2, 3 et 4, elles sont basées sur la transposition des résultats d'Ahuntsic à l'ensemble du réseau de Montréal. Cette transposition conduit à une sous-estimation des besoins de remplacement, car la région en question ne comprend aucune conduite du siècle dernier ni aucune conduite construite par d'autres municipalités. Or, ces deux groupes de conduites ont des taux de réparation supérieurs d'au moins 20 % à la moyenne du réseau.

On rappelle également ici qu'il peut exister une 3^{ème} source de sous-estimation, cette fois pour toutes les méthodes : la région de Rosemont/Petite-Patrie n'a pas été éliminée même si elle détient un taux de réparation très bas et inexploité.

6.6 Recommandations d'interventions

De l'ensemble de ces résultats, on doit tenter de recentrer la gamme des taux possibles. En tenant compte des simulations faites dans la méthode 4 (seuil) et des résultats obtenus dans la méthode 2 (réputée par l'industrie comme étant une méthode conduisant à de faibles taux de remplacement), on déduit que le taux de rénovation du réseau devrait être au minimum de 0,39% du linéaire par année et non de 0,29%. C'est disons le régime de croisière minimum à soutenir à long terme pour remplacer les tronçons les plus dégradés. Mentionnons que la moyenne des villes canadiennes se situe actuellement à 0,6% par année. Notons également qu'un effort de rénovation de 0,5% par an correspond à un cycle complet de remplacement de 200 ans. Une telle espérance de vie serait très élevée.

Une seule méthode d'évaluation (méthode 3) a permis une discrimination des groupes de conduites afin d'apprécier plus justement, et non de manière intégrée, l'effort de rénovation à réaliser. Les résultats obtenus ont permis d'établir que sur une période de 20 ans, une moyenne de 0,66 à 0,71% du linéaire du réseau devrait être remplacée chaque année. Ces résultats sont du même ordre que ceux évalués par la méthode 4 (0,67%) si on considère l'hypothèse moyenne. Compte tenu de la méthodologie retenue et malgré certaines limites inhérentes à la qualité et à la quantité d'information disponible, cette méthode est celle réputée être la plus valable. On rappelle que la moyenne de rénovation de la ville de Montréal pour les années 1986 à 1996 se situait à 0,13% par année, bien que les demandes des services concernés se situaient plutôt à 2 ou 3 fois cette valeur.

Ces résultats sont encore bien en dessous des prévisions réalisées par l'INRS-Eau pour l'ensemble du Québec. Dans une étude réalisée en 1997 et commanditée par le MAM, le taux de rénovation à prévoir en moyenne pour les villes du Québec est de 1,1% du linéaire par an. On notera que le chiffre de 0,6 % est par ailleurs atteint depuis 10 ans par la ville de Québec et dans les 3 dernières années à Sherbrooke.

Le tableau 6-3 permet une comparaison des linéaires à rénover à court, moyen et long termes pour les méthodes 2 à 4.

TABEAU 6.3 BILAN DES LINÉAIRES À RÉNOVER ANNUELLEMENT DURANT CHAQUE PÉRIODE

Méthode	0-5 ans	6-10 ans	11-20 ans	Total 0-20 ans
2	13,7 km/an	8,0 km/an	8,0 km/an	188 km
3	26,4 km/an	13,0 km/an	13,0 km/an	327 km
4 seuil	7,0 km/an	7,0 km/an	7,0 km/an	140 km
4 médian	16,1 km/an	16,1 km/an	16,1 km/an	322 km
4 haut	23,3 km/an	23,3 km/an	23,3 km/an	466 km

Le tableau 6-4 fait la synthèse des conséquences financières associées à chacun des scénarios d'intervention proposés pour le réseau secondaire seulement. Selon des hypothèses réalistes, on considère que le coût moyen de rénovation d'un tronçon de conduite est de \$650/m. linéaire. Il faut noter que les coûts sont présentés par période de 5 ou 10 ans et non par année; les coûts sont arrondis au million de dollar près.

TABLEAU 6.4 BILAN DES INVESTISSEMENTS À PRÉVOIR (RÉSEAU SECONDAIRE, ASPECTS STRUCTURAUX)

Méthode	0-5 ans	6-10 ans	11-20 ans	Total
2	44 M\$	26 M\$	52 M\$	122 M\$
3	86 M\$	42 M\$	85 M\$	213 M\$
4 seuil	23 M\$	23 M\$	45 M\$	91 M\$
4 médian	52 M\$	52 M\$	105 M\$	209 M\$
4 haut	76 M\$	76 M\$	151 M\$	303 M\$

7. ÉQUIPEMENTS CONNEXES – ASPECTS STRUCTURAUX

Nous retrouvons dans cette section une analyse très succincte concernant les entrées de service, les vannes et les bornes-incendie.

Suivant une répartition fournie par chacune des 9 régions, le total annuel 1995 des interventions se répartit comme suit :

- Entrées de service : 1960 ou 71 % du total des interventions;
- Vannes : 70 ou 3 %% du total des interventions;
- Bornes-incendie : 220 ou 8 %% du total des interventions;
- Conduites : 510 ou 18 %% du total des interventions.

7.1 Entrées de service

Par rapport aux interventions sur conduites, le nombre d'interventions sur service peut sembler élevé. Cependant, ramené à plus de 242,000 entrées, c'est moins de 1 % des entrées qui font annuellement l'objet d'interventions, ce qui n'a pas justifié de poursuivre plus loin notre analyse. Nous nous sommes contentés de compiler pour les années 1995 et 1996 les interventions sur service pour la région d'Ahuntsic. D'après la terminologie utilisée par la région, les interventions se répartissent comme suit :

- Fuites sur service : 13 %
- Creuser boîte : 24 %
- Creuser boîte pour mettre en ordre : 20 %
- Boîte à niveler : 34 %
- Vérification de boîte : 2 %
- Dégel de service : 6 %

On notera que les conditions climatiques de 1995 ont engendré une faible quantité de dégel de service.

Nous n'avons pas trouvé de données sur les remplacements d'entrées de service. Ce remplacement pourrait revêtir un intérêt tout particulier lorsqu'on sait qu'une importante

partie des services encore en place est en plomb. Le MEF a d'ailleurs fait réaliser une étude [Tremdel] qui établit qu'environ 57 % des services de Montréal datent d'avant 1951 et peuvent être considérés comme étant constitué de ce matériau. Suivant une communication personnelle avec le responsable au MEF, ces concentrations de plomb à l'usager auraient fait l'objet d'une importante campagne d'échantillonnage et d'analyse. Les résultats de cette campagne n'auraient cependant rien d'alarmant à Montréal, constat qui aurait été entériné par les autorités de Santé Publique. La qualité non agressive de l'eau de Montréal permettrait en effet de réduire considérablement les concentrations à l'usager. Seule la consommation de l'eau de premier jet pourrait être questionnée.

À titre préventif, nous recommandons à la Ville une certaine vigilance vis-à-vis du dossier du plomb et de l'évolution des normes en la matière.

7.2 Vannes et bornes-incendie

La Ville dispose d'un fichier informatisé donnant les principales caractéristiques des 14,000 bornes-incendie. Ces équipements se retrouvent aux plans.

Les bornes-incendie font l'objet de programmes d'inspection réguliers par le Service des Travaux Publics et de l'Environnement. Selon la Ville et la réglementation en vigueur, la fréquence est d'au moins 2 inspections par année. Le nombre d'interventions annuel s'établit aux environs de 220 sur les 14,000 unités.

On notera que l'AWWARF [AWWARF-3] recommande de :

- Tenir un fichier de l'ensemble des inspections et interventions;
- Bien définir les procédures d'inspection et de test;
- Définir un programme de tests.

À l'heure actuelle, il n'est pas possible d'obtenir une image documentée de l'état fonctionnel des vannes. Les équipes de terrain ont une connaissance directe de la situation (vannes opérables ou non, fermant adéquatement ou non), mais cette information n'est habituellement pas rapportée sur papier. Les équipes de terrain considèrent que le nombre des vannes défectueuses pourrait atteindre 10 à 20 % du stock. Ceci peut affecter le nombre d'usager privé d'eau en cas de coupure ainsi que la durée des coupures. La mise en œuvre d'un programme visant à identifier et remettre systématiquement en état l'ensemble des vannes a été présenté par le Service des Travaux Publics et de l'Environnement lors de l'exercice budgétaire 1997. Un budget devra être prévu à cette fin par la Ville.

On notera qu'il existe maintenant des systèmes informatisés permettant de gérer toute l'information relative aux vannes et aux bornes-incendie. Ces systèmes sont utilisés par de nombreuses municipalités québécoises.

L'AWWARF [AWWARF-3] recommande quant à elle le suivi de la performance basé sur le pourcentage de vannes qui peuvent être localisées, le pourcentage de vannes testées chaque année ainsi que le pourcentage de vannes testées et non fonctionnelles.

8. RÉSEAU PRIMAIRE - ASPECTS STRUCTURAUX

Pour les raisons déjà évoquées plus haut, nous n'avons saisi aucune donnée relativement à la description des conduites primaires et surtout aucune information sur les réparations de bris. Ne pouvant ainsi suivre une méthodologie similaire à celle de l'analyse du réseau secondaire, nous avons cherché à établir des comparaisons globales entre réseau primaire et réseau secondaire. Les spécialistes de la Ville ont par la suite procédé à une analyse détaillée par type de conduites à partir des connaissances de l'ensemble de leurs équipes.

8.1 Description du réseau

Le réseau des conduites principales d'aqueduc est constitué de canalisations de 350 mm (14 pouces) à 2700 mm (9 pieds) de diamètre qui acheminent l'eau produite par les usines de filtration. Elles se distinguent des conduites secondaires par le fait qu'aucun riverain n'est relié directement aux conduites principales (d'une façon générale). Il totalise près de 445 km de conduites, dont les plus vieilles datent des années 1870. Le tableau suivant illustre la distribution de l'âge des conduites.

TABLEAU 8.1 DISTRIBUTION DE L'ÂGE DES CONDUITES PRINCIPALES

Années	Longueur (km)
Avant 1900	33
1900 à 1919	33
1920 à 1939	69
1940 à 1959	98
1960 à 1979	148
1980 à 1997	64

Les matériaux utilisés pour la construction de ces conduites ont changé à différentes époques. On retrouve des conduites en fonte grise, en acier, en béton armé, en béton précontraint et en polyéthylène; à l'intérieur de chacun de ces groupes on retrouve de plus des variantes importantes en ce qui concerne les méthodes et les normes de fabrication.

8.2 Appréciation générale de l'état du réseau

Selon la connaissance actuelle des spécialistes de la Ville, le réseau des conduites principales est dans un état satisfaisant. En fait, bien que les bris majeurs soient spectaculaires, on en dénombre peu (moins d'un en importance par année) pour un réseau de plus de 445 km. Par ailleurs, le réseau est fiable puisqu'en aucun cas, lors de ces bris, l'alimentation en eau et la protection incendie n'ont été compromises de façon significative. Également, la plupart des interventions d'entretien ou de réparation qui

nécessitent la fermeture de conduites sont effectuées sans qu'il n'y ait d'interruptions d'alimentation ou d'impacts majeurs pour les citoyens desservis.

Toutefois, on remarque des situations où l'alimentation de quartier entier est précaire en raison de la fragilité ponctuelle du réseau. On doit se rappeler qu'une conduite principale n'alimente pas directement des citoyens mais plutôt des quartiers complets. Le réseau nécessite donc des travaux de rénovation pour, dans un premier temps, assurer l'usage d'une conduite ou d'une voie d'alimentation (réhabilitation structurale) et dans un second temps assurer l'alimentation de quartiers et d'arrondissement complet par l'ajout de conduite pour donner une alternative en cas de bris ou d'entretien d'une conduite unique (réhabilitation fonctionnelle). Cette dernière sera traitée au chapitre 9.

8.3 Méthodologie

Les prévisions de réhabilitation structurale et de remplacement des conduites principales d'aqueduc sont basées sur le plan directeur d'aqueduc de la ville de Montréal et sur les expertises conduites en laboratoire ou sur le terrain lors de la réparation ou la reconstruction des sections du réseau.

La diversité des âges, matériaux, sols et autres conditions qui exercent une influence sur la dégradation des conduites a été démontrée précédemment. N'ayant pas accès à une base de données complète sur les réparations effectuées, les spécialistes de la Ville ont procédé à une analyse basée sur les connaissances accumulées relativement à la dégradation de chaque type de conduites.

Les besoins de remplacement ont été établis en premier lieu pour répondre à des situations locales connues et en second lieu en extrapolant raisonnablement que ces conditions pourraient s'appliquer à des conduites similaires. Dans tous les cas, le programme devra être revu périodiquement par l'analyse des besoins réels vérifiés par les travaux qui auraient été effectués précédemment.

8.4 Recommandations d'interventions

On présente au tableau 8-2 le programme proposé pour l'aspect structural du réseau primaire de la ville de Montréal.

TABLEAU 8.2 PROGRAMME PROPOSÉ POUR LE RÉSEAU PRIMAIRE – ASPECT STRUCTURAL

Matériaux	km	Proposé (milliers \$)			
		0-5 ans	5-10 ans	10-20 ans	Total
Fonte grise < 20"	59.4	1555	1155	2310	5020
Fonte grise 20" à 48"	63.5	2250	2250	4500	9000
Fonte réhabilitée	22.3	500	500	1000	2000
Fonte ductile	7.7	0	0	0	0
Acier (réhabilité et non réhabilité)	20.4	6370	4890	2400	13660
Bonna	25.4				
Béton armé cage et cylindre	132.4	1000	1000	2000	4000
Béton armé Hyprescon (groupe 1)*	36.0	5000	1500	0	6500
Béton armé Hyprescon (groupe 2)*	75.2	0	0	0	0
Polyéthylène	1.1	0	0	0	0
Chambres vannes	-	2500	500	1000	4000
Total	443.4	19175	11795	13210	44180

* Les deux groupes de conduites en béton armé Hyprescon identifiés par les spécialistes de la Ville font référence à des normes différentes au niveau de la conception et la fabrication des conduites.

Le programme ainsi proposé amène la rénovation (réhabilitation ou remplacement) d'environ 0,4% du linéaire total du réseau primaire par année.

9. RÉSEAUX PRIMAIRES ET SECONDAIRES – ASPECTS FONCTIONNELS

Le présent chapitre regroupe les aspects quantitatifs et qualitatifs.

9.1 Aspects quantitatifs

9.1.1 Mise en situation

En 1983, les *Underwriters* ont commandé une série de 48 essais suivis de 40 autres réalisés par la Ville entre 1986 et 1990. Tous les problèmes soulevés à cette époque furent corrigés dans les années suivantes. Comme pour les aspects structuraux, nous analyserons séparément le réseau primaire et le réseau secondaire.

9.1.2 Réseau secondaire

Avec un réseau primaire bien développé, le rôle du réseau secondaire est de fournir une alimentation adéquate aux différents usagers et de fournir une protection incendie suffisante.

Notre analyse s'est portée sur 3 types de problèmes : les basses pressions statiques, les secteurs ayant des variations importantes de pression et les secteurs présentant des indices de problème de protection incendie.

Dans un premier temps, nous avons identifié les secteurs pouvant présenter de tels problèmes. Par la suite, la Ville a analysé chacun des cas qui sont problématiques.

La Ville s'est assurée que les travaux déjà prévus dans les conduites principales d'aqueduc (structural et fonctionnel) et dans les conduites secondaires d'aqueduc (structural) n'avaient pas d'incidence sur les aspects fonctionnels de chaque cas de conduite d'eau secondaire étudié. La Ville a également effectué des recherches dans les études hydrauliques antérieures (essais d'écoulement, développement, plan directeur) afin de valider tous les cas et a fait effectuer des essais de modélisation hydraulique.

Au total, le programme proposé prévoit :

TABLEAU 9.1 PROGRAMME PROPOSÉ SUR LE RÉSEAU SECONDAIRE- ASPECT FONCTIONNEL

Période	Estimés (millions \$)
1-5 ans	1,0
6-10 ans	4,2
11-20 ans	0
Total	5,2

9.1.3 Réseau primaire

Comme nous l'avons vu précédemment, le réseau primaire a de tout temps fait l'objet d'une attention particulière de la part de la Ville. Depuis 1950, sa longueur a triplé. Au cours de la décennie 1970-1979 des travaux majeurs ont été réalisés suivant un plan directeur réalisé dans la lignée d'un accroissement démographique important.

Cependant cette tendance démographique ne s'est pas matérialisée et la population desservie est de 1.5 M de personnes depuis plusieurs années. Seule la partie Est du réseau continue de recevoir de développement. Par ailleurs, la Ville a toujours conservé des ressources lui permettant d'exercer un suivi du fonctionnement de son réseau primaire ; elle dispose de plus d'une planification de travaux.

En premier lieu notre analyse a porté sur le programme proposé en août 1995 par le module Gestion des Eaux pour les années 1996-2006 ainsi que sur les projets supplémentaires que la Ville prévoit. Dans un deuxième temps nous avons vérifié si d'autres problèmes pouvaient se manifester.

Les insuffisances hydrauliques sont détectées à partir des données de pression statiques ainsi que des enregistrements de pression à des points stratégiques. La modélisation permet une première analyse.

Les problèmes de flexibilité ont été identifiés par analyse de la configuration du réseau réalisée directement sur le schéma du réseau. Cette préoccupation est reliée au fonctionnement du réseau dans des situations particulières où une conduite du réseau primaire doit être mise temporairement hors-service.

Dans tous les cas les résultats de notre analyse ont été validés avec la Ville.

De plus, les projets reliés à la flexibilité du réseau primaire dans les zones 2 et 6 ont été examinés. La Ville les avait déjà analysés mais ne les avait pas retenus dans le programme 1996-2006. Après validation auprès de la ville, ils sont retenus dans notre proposition de programme. Ces projets concernent entre autres la flexibilité associée à la conduite de 84 et 72 po située le long du boulevard Métropolitain ainsi que la remise en service du plus gros réservoir de la Ville, celui de Rosemont. On notera que la nature des solutions retenues pour ces projets devra être réexaminée. Pour ce qui est du réservoir Rosemont, seule une première tranche de 15 % des travaux a été prévue dans l'horizon 20 ans.

En tout, 13 projets ont ainsi été validés et retenus. On notera que deux projets dépassent l'horizon 20 ans et qu'un autre, relié au développement, ne se voit pas attribué de budget dans la présente étude.

En plus de tous ces cas, nos propres analyses ont porté sur 51 cas. Dans 9 de ces cas, la solution recoupe un des 13 projets déjà mentionnés plus haut. Trois autres cas devront faire l'objet d'analyse plus approfondie ou de mesure de terrain.

Globalement, le niveau d'investissement proposé (voir tableau suivant) est relativement peu élevé, ce qui traduit bien les qualités fonctionnelles du réseau.

TABLEAU 9.2 PROGRAMME PROPOSÉ SUR LE RÉSEAU PRIMAIRE- ASPECT FONCTIONNEL (MILLIER \$)

Conduites	0-5 ans	5-10 ans	10-20 ans	Total	ULT
(1) Gouin, Tanguay à Taylor	2400	0	0	2400	0
(2) Chambres de raccords	600	300	600	1500	0
(3) Autoroute 15 / Sauvé/St-Laurent	0	2300	0	2300	0
(4) Blue Bonnets	0	0	0	0	0
(5) Réservoir Vincent-d'Indy et C.D.N.	800	0	0	800	0
(6) Notre-Dame de Montréal Est à 27 ^{ème} avenue	0	0	0	0	2800
(7) Métropolitain, Marien à St-Jean-Baptiste	0	0	800	800	0
(8) Flexibilité 2 et 6 (est)					
Zone 2	9200	0	0	9200	
Zone 6	0	5800	0	5800	
Réalimentation réservoir Rosemont (à préciser)	0	0	5000	5000	25000
(9) Saint-Jean-Baptiste, Métropolitain à Sherbrooke	0	0	0	0	1100
(10) Cour Turcot – Canal Lachine	1000	0	0	1000	
(11) Réaménagement McTavish/Sherbrooke	0	1000	0	1000	
(12) Réaménagement Parc St-Colomban	100	0	0	100	
(13) Flexibilité – Parc des Îles- Bridge	0	850	0	850	
Total	14100	10250	6400	30750	

Remarques :

- (4) Plus requis, mise en service conduite 36'' Bourret;
Raccord prévu dans chambres de raccords;
Conduite sur le projet est incluse au développement;
- (5) Autres conduites incluses au chapitre des reconstructions structurales;
- (6) Reporté ultérieurement : mise en service de la conduite du boulevard Henri-Bourassa.

9.2 Aspects qualitatifs

Dès le début du projet, nous avons procédé à une analyse succincte de cette problématique. Les premières informations recueillies sont résumées ci-dessous :

- Qualité de l'eau à la production :

Tant au niveau de la prise d'eau qu'à la sortie des deux usines de traitement des eaux (UTE), la qualité de l'eau est particulièrement bonne en regard de l'actuel Règlement sur la qualité de l'eau potable du MEF. La très faible concentration en matière organique dissoute est en effet un pré requis à une situation positive en matière de contrôle de la recroissance bactérienne en réseau;

- **Qualité de l'eau à la consommation :**

Au cours des dernières années, deux postes de re-chloration saisonniers ont été installés dans le réseau. Le programme de suivi comprend le prélèvement et l'analyse de 3640 échantillons par année en 70 sites. La localisation de ces sites est particulièrement stratégique dans un réseau de l'ampleur de celui de la Ville.

Une étude réalisée dans le cadre de la Chaire en Eau Potable de l'École Polytechnique en 1993 a fait ressortir que, malgré un temps de séjour en réseau élevé, les conditions n'étaient pas réunies pour que la problématique de recroissance bactérienne soit systématiquement préoccupante.

Malgré cela, il existe une problématique ponctuelle : le nombre d'avis d'ébullition a cru de 1993 à 1996. Cette situation n'est pas sans engendrer des craintes parmi les usagers.

Plusieurs explications nous ont été fournies:

- Le protocole du MEF en matière d'avis d'ébullition;
- Un temps de séjour pouvant être ponctuellement très élevé. On notera l'absence de modélisation de l'ensemble du réseau secondaire;
- La quasi-disparition de l'inspection des systèmes industriels de plomberie pouvant amener une contamination;
- La nécessité de continuer à améliorer la formation des équipes d'intervention de la Ville, en particulier celle qui effectue la remise en fonction du réseau après des travaux;
- L'augmentation des travaux dans le cadre du Programme d'Infrastructures qui a multiplié les interventions durant ces années.

La Ville souligne l'importance du dernier élément mentionné.

Compte tenu de contraintes budgétaires survenues en fin de projet, nous n'avons pas développé plus loin l'analyse et nous ne proposerons pas de travaux dans le cadre du présent projet.

Une nouvelle étude du comportement du réseau a débuté en 1998 avec la Chaire de l'Eau Potable de l'École Polytechnique et devrait donner des résultats d'ici peu.

10. PROGRAMME PERMANENT DE DIAGNOSTIC

La Ville devra également implanter un suivi et un diagnostic permanent comprenant au moins les volets gestion de l'information et diagnostic permanent :

10.1 Gestion de l'information

L'information relative aux bris ou fuites identifiées puis réparées devra faire l'objet d'un système de saisie et de gestion à la fois flexible, facile d'utilisation et permettant de traiter l'information jusqu'au niveau nécessaire à une étude similaire à la présente. Plusieurs municipalités disposent déjà de tels systèmes [AWWARF-1].

Nous avons également relevé l'existence de plusieurs modèles de décision d'intervention [AWWARF-1]. Ces outils permettent d'établir les priorités d'intervention en ajoutant au taux de réparation d'autres critères comme : le rôle fonctionnel de la conduite, l'état de la chaussée, etc. La Ville devra prévoir investir pour se doter d'un tel système. Aux fins de planification, un budget de l'ordre de \$1,5 millions est recommandé par la présente étude pour implanter de tels systèmes alors que son opération demandera environ \$150,000 par année.

10.2 Diagnostic permanent

a) Réseau secondaire

L'implantation d'un programme systématique de détection des fuites permettra à Montréal de maintenir un premier niveau de diagnostic permanent en ajoutant les réparations de fuites aux réparations de bris. **Avec des mesures permettant aux régions de réparer ces fuites**, la Ville pourrait rentabiliser facilement cette opération. En effet suivant l'AWWARF, [AWWARF-3] les programmes de détection-réparation économisent annuellement en moyenne 5 fois leurs coûts et permettent de localiser environ 18 fuites/100km-an.

La mise en place d'un tel programme pourrait être basée sur des expériences comme celles de Boston et Laval. On notera qu'il sera probablement requis d'installer des points de mesure de débit temporaires ou permanents (avec enregistrement) afin d'identifier et de suivre les secteurs prioritaires.

Aux fins de planification nous prévoyons le budget suivant :

- Phase d'implantation :
 - Modifications au réseau pour permettre l'implantation d'une vingtaine de points de mesures : \$2 millions ;
 - Achat et installation des 20 points de mesure : \$1 million;
 - Conception : \$0,8 million;

Pour un total de \$3,8 millions sur 3 ans.

- Phase d'opération :

- Détection annuelle sur l'ensemble du réseau : \$500,000/an incluant l'opération du réseau de mesure et la gestion de l'information.

b) Réseau primaire

Différents projets de diagnostic de l'état structural résiduel des conduites ont été menés depuis le début des années 1990. Bien que ces projets aient permis de prescrire localement des méthodes de réhabilitation, les résultats ne sont pas concluants. Deux méthodes d'évaluation d'une même conduite ont démontré une variation importante dans les résultats et dans un autre cas, la méthode n'a pas été concluante puisque la conduite n'était pas assez dégradée (contrairement à ce que l'on soupçonnait).

Les meilleures sources d'information proviennent des bris et des analyses de leur cause, de l'état des conduites observées lors d'intervention (réparation, reconstruction et nouveaux raccordements) et de l'évaluation et la mesure des fuites pour un tronçon particulier.

Au chapitre du diagnostic, des budgets devraient donc être prévus localement pour appliquer une méthode reconnue, tester et évaluer de nouvelles méthodes, vérifier de façon traditionnelle des sections de conduite et finalement procéder systématiquement à une vérification des débits, par conséquent des fuites.

Un budget annuel de \$200,000 est ainsi recommandé pour les 20 prochaines années.

10.3 Total requis

Au total les investissements suivants sont requis aux fins de diagnostic permanent :

- Premières années : \$10,0 millions;
- Années 6 à 10 : \$4,0 millions;
- Années 11 à 20 : \$8,0 millions.

11. BILAN DES BESOINS

Pour obtenir une vision la plus intégrée possible des besoins d'investissements, on peut référer au tableau 11.1 qui présente la somme des investissements requis pour les réseaux primaires et secondaires, aspects fonctionnel et structural inclus, et incluant les investissements requis pour assurer un diagnostic permanent. Seul le budget de réparations des fuites détectées n'est pas inclus.

On présente la gamme des valeurs en tenant compte de toutes les méthodes retenues et de tous les scénarios de progression de la détérioration du réseau secondaire. La valeur médiane est identifiée; c'est celle qui comprend autant de valeurs plus hautes que plus basses.

TABLEAU 11.1 BILAN DES INVESTISSEMENTS TOTAUX À PRÉVOIR SELON LES 3 MÉTHODES RETENUES

Méthodes	0-5 ans	6-10 ans	11-20 ans	Total
Toutes méthodes confondues	67 à 130 M\$	53 à 106 M\$	73 à 179 M\$	193 à 415 M\$
Médiane	97 M\$	72 M\$	113 M\$	281 M\$

Les équipes du CNRC et de l'INRS-Eau considèrent qu'à la lumière des résultats obtenus dans cette présente étude et des pratiques des autres villes en termes d'effort de rénovation, les investissements à prévoir devraient se situer à la borne supérieure des chiffres présentés au tableau 11.1. Cette analyse ne prend en compte aucune considération de disponibilité budgétaire. Par ailleurs, la seule mesure que l'étude considère afin de permettre une transition entre le niveau actuel des efforts et celui requis en fonction de nos résultats consiste à étaler sur 5 ans les travaux jugés nécessaires à la fin de 1997.

12. PROPOSITION D'ORIENTATIONS BUDGÉTAIRES

Certaines réalités administratives ont été présentées par les représentants de la Ville après confirmation des résultats présentés ci-dessus. Ces réalités peuvent justifier une certaine retenue dans l'effort initial de rénovation à court terme, sans modifier ou entacher la valeur de nos résultats. Actuellement, et depuis plus de 10 ans, la Ville ne rénove que 0,13% du linéaire par an, malgré que les demandes du Service des Travaux Publics et de l'Environnement (ou son équivalent sous d'autres administrations) aient toujours été supérieures à ces chiffres par un facteur de l'ordre de 2 à 3 au 0,13 % effectivement rénové.

Un effort annuel de rénovation de 0,4% du linéaire du réseau secondaire (de l'ordre des 0,39% obtenus par la méthode 2 sur 20 ans), permettrait de remplacer environ 50 km dans les 5 premières années. Ce chiffre correspond justement à la longueur des tronçons déjà considérés comme critiques à la fin de 1996 d'après cette même méthode 2.

Tous les investissements justifiés pour le réseau primaire et pour régler les problèmes fonctionnels doivent être maintenus.

Cet effort minimal implique :

- Un investissement minimum de près de 15 millions de dollars par an pendant 5 ans, pour le réseau d'aqueduc seulement, dont 2 millions aux fins de diagnostic seulement;
- La priorisation d'efforts récurrents de diagnostic et de l'analyse continue de l'évolution de l'état du réseau selon la méthodologie appliquée dans la présente étude diagnostic;
- La démonstration, de manière transparente et après validation par des équipes techniques et scientifiques compétentes, dans la 5^e année du programme de rénovation, d'une amélioration de l'état du réseau, le cas échéant, ou le rajustement du niveau d'interventions dans le cas contraire.

BIBLIOGRAPHIE

- [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, American Water Works Association Research Foundation, 1986, 181 p.
- [AWWARF-2] DEB, Arun, Yakir Hasit et Frank Grablutz, Distribution System Performance Evaluation, Denver, American 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, American 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.
- [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.
- [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.