

Record Number: 13630
Author, Monographic: Pelletier, G./Mailhot, A./Villeneuve, J. P.
Author Role:
Title, Monographic: Évaluation des besoins des municipalités québécoises en réfection et construction d'infrastructures d'eaux

Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1997
Original Publication Date: 7 février 1997
Volume Identification:
Extent of Work: 14
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, rapport de recherche
Series Volume ID: 489
Location/URL:
ISBN: 2-89146-483-4
Notes: Rapport annuel 1996-1997
Abstract: 2.00\$
Call Number: R000489
Keywords: rapport/ ok/ dl

**ÉVALUATION DES BESOINS DES
MUNICIPALITÉS QUÉBÉCOISES EN
RÉFECTION ET CONSTRUCTION
D'INFRASTRUCTURES D'EAUX
RAPPORT DU 7 FÉVRIER 1997**

**ÉVALUATION DES BESOINS DES MUNICIPALITÉS QUÉBÉCOISES EN
RÉFECTION ET CONSTRUCTION D'INFRASTRUCTURES D'EAUX
RAPPORT DU 7 FÉVRIER 1997**

**Rapport rédigé pour
Ministère des Affaires Municipales du Québec**

**par
Geneviève Pelletier
Alain Mailhot
Jean-Pierre Villeneuve**

**Institut national de la recherche scientifique, INRS-Eau
2800, rue Einstein, Case postale 7500, SAINTE-FOY (Québec), G1V 4C7**

Projet MAM

Rapport de recherche No R489

Février 1997

1 INTRODUCTION

Généralement, les gestionnaires municipaux attribuent la détérioration rapide des infrastructures urbaines au manque de moyens financiers pour établir de bons programmes de maintenance préventive. La gestion des infrastructures d'eaux se limite à répondre aux situations de crise lorsque des citoyens mécontents rapportent l'inondation de leur sous-sol ou de leur rue. La situation peut paraître alarmante en raison du vieillissement des infrastructures, c'est pourquoi il est important de développer une méthodologie systématique afin d'évaluer les besoins des municipalités québécoises en réfection et construction d'infrastructures d'eaux.

L'étude menée à l'INRS-Eau et mandatée par le Ministère des Affaires Municipales a pour objectif de développer un modèle de prédiction du nombre de bris des conduites d'aqueduc et d'égout afin de calculer les besoins en capitaux pour la réfection et la construction d'infrastructures d'eaux pour des horizons de 5, 10 et 20 ans.

Dans un premier temps, une revue de littérature a été faite pour identifier les modèles de prédiction utilisés en Amérique du Nord et en Europe. Plusieurs modèles prédictifs ont été développés pour les bris des conduites d'aqueduc alors que pour les réseaux d'égout, ils sont pratiquement inexistantes. Pour pouvoir prédire les bris, il faut connaître leur historique. Cette tâche est beaucoup plus facile pour les réseaux d'aqueduc en raison des conséquences physiques visibles (inondations des sous-sols et des rues), économiques (perte d'eau potable, coût de réparation) et sociales (possibilité de poursuites et de réclamations) des bris d'aqueduc. Les bris des conduites d'égout sont plus difficiles à localiser à moins de conséquences physiques graves telles les refoulements d'égout dans les propriétés privées et l'effondrement de la chaussée due à la perte d'intégrité structurale. Pour ces raisons, cette étude se penchera d'abord sur les modèles prédictifs des bris de conduite d'aqueduc.

Dans un second temps, le choix et la stratégie de modélisation ont mené à l'identification des données à recueillir auprès des municipalités. Il est clair que pour développer un modèle

prédictif de type statistique, il faut avoir accès à une bonne base de données sous support informatique. L'acquisition de l'information de base et le traitement de l'information est en cours avec la collaboration de 3 municipalités (Chicoutimi, Gatineau et Laval). Nous espérons entrer en contact avec une ou deux autres municipalités supplémentaires.

2 REVUE SOMMAIRE DE LA LITTÉRATURE

2.1 La détérioration des réseaux d'aqueduc

Les études sur la détérioration des conduites d'aqueduc sont nombreuses et variées. Toutefois, il est clair que la corrosion est responsable de la grande majorité des bris. La détérioration des parois des conduites due à la corrosion diminue l'intégrité structurale des conduites et les rend ainsi plus vulnérables aux bris mécaniques. Le taux de corrosion est influencé par différentes variables: **les caractéristiques des conduites** (diamètre, longueur, type de matériau, âge, épaisseur des parois, type de recouvrement, etc.) et **les facteurs environnementaux** (température de l'eau, type de sol, perturbation du sol, type de remblais, méthode de compactage, etc.).

Certaines relations entre le taux de corrosion et les caractéristiques et l'environnement des conduites sont reconnues alors que d'autres ne sont qu'au stade d'hypothèse. Par exemple, plusieurs études rapportent que les bris sont plus fréquents sur les conduites de petits diamètres [e.g. Kettler et Goulter (1985); Male *et al.* (1990); Habibian (1992)]. Les raisons peuvent être multiples; on retrouve beaucoup plus de canalisations de petits diamètres, elles sont sûrement mises en terre avec moins de précaution que celles de grands diamètres, les parois sont de plus petites épaisseurs, etc.. De plus, plusieurs municipalités soupçonnent un lien entre la température de l'eau dans les canalisations et le nombre de bris puisque la majorité des bris survient lors d'une baisse importante de la température de l'eau. Habibian (1994) a constaté ce phénomène sans toutefois arriver à établir une corrélation quantitative entre la baisse de température et la probabilité de bris.

L'état des connaissances dans ce domaine ne permet pas d'identifier avec certitude toutes les variables jouant un rôle dans le phénomène des bris de conduite. D'après la littérature, deux types de données sont nécessaires pour mener à bien une analyse quantitative sur les bris: les caractéristiques du réseau conduite par conduite et l'historique des bris remontant à plusieurs années. Dans les municipalités québécoises bien pourvues en données, il est possible d'obtenir les données suivantes pour les caractéristiques du réseau conduite par conduite: le diamètre, le matériau, l'âge et la longueur des conduites, le type de sol et l'occupation du sol. Pour l'historique des bris, il est possible d'obtenir les dates des bris, leur localisation dans le réseau d'aqueduc et le type d'intervention effectuée.

2.2 La modélisation

Plusieurs modèles ont été développés afin de prédire le nombre de bris des conduites d'aqueduc. Les modèles prédictifs permettent de mettre en lumière les tendances générales de l'évolution du nombre de bris dépendant des variables explicatives prises en compte. Trois catégories de modèle ont été identifiées par Karaa et Marks (1990): (1) les modèles de type agrégé; (2) les modèles de régression; et (3) les modèles probabilistes. Ces types de modèle ont fait l'objet d'une revue critique par Elnaboulsi et Alexandre (1996).

2.2.1 Les modèles de type agrégé

Ces modèles se basent sur l'hypothèse que le nombre de bris des conduites d'aqueduc ne dépend que du temps pour des conduites de caractéristiques homogènes. Les caractéristiques qui permettent d'agréger les conduites par groupe homogène sont les suivantes: le matériau et la période d'installation, les conditions pédologiques et thermiques autour de la conduite, les pressions et les conditions d'opération. Les études de Shamir et Howard (1979) et de Walski et Pelliccia (1982) sont les plus souvent citées comme exemples de ce type de modèle. Les avantages majeurs de ces modèles sont qu'ils nécessitent peu de données (à comparer aux autres types de modèle) et qu'ils sont simples à utiliser. Le désavantage majeur est qu'ils ne prennent pas explicitement en compte les

variables qui interviennent dans la détérioration des conduites.

2.2.2 Les modèles de régression

Les modèles de régression tentent de prédire le nombre de bris des conduites d'aqueduc en établissant des relations avec des variables indépendantes ayant une influence sur les bris. Les variables identifiées par Clark *et al.* (1982) sont les caractéristiques des conduites et les facteurs environnementaux suivants: le diamètre, la longueur, le matériau et l'âge des conduites, le nombre total de bris antérieurs et l'historique de réparation, la corrosivité du sol autour de la conduite et la pression. Leur modèle, développé à l'EPA (Environmental Protection Agency aux États-Unis) et souvent cité dans la littérature, repose sur deux équations de régression. La première estime l'âge de la conduite lors du premier bris et la seconde estime le nombre potentiel de bris subséquent (qui croît de façon exponentielle avec le temps). Les régressions permettent d'établir l'importance de l'influence de certaines variables ("cause à effet") sur les bris de conduites et sont ainsi une amélioration par rapport aux modèles agrégés (pour lesquelles le lien quantitatif entre la fréquence des bris et les variables explicatives n'existe pas). Toutefois elles nécessitent un plus grand nombre de données souvent difficiles à obtenir sur les conduites ayant subi un bris et les corrélations sont souvent faibles.

2.2.3 Les modèles probabilistes

Les modèles probabilistes les plus souvent cités dans la littérature sont basés sur l'analyse de survie. Les modèles pouvant être utilisés pour étudier la dépendance du phénomène de survie par rapport à certaines variables explicatives sont: (1) les modèles exponentiels et de Weibull; (2) le modèle des risques proportionnels de Cox; et (3) le modèle de temps accéléré. Ces modèles permettent de prédire le taux de défaillance d'une conduite dans des horizons futurs en fonction de variables caractérisant la conduite et son environnement. L'avantage majeur de ce type d'analyse est qu'il tient compte de l'absence autant que de l'occurrence des bris, contrairement aux modèles agrégés et de régression qui ne tiennent

compte que de l'occurrence des bris. Les désavantages majeurs sont que ce type de modèle nécessite une caractérisation détaillée du réseau d'aqueduc et que l'analyse est plus complexe et l'interprétation des données plus délicate. De plus, il est d'une grande importance d'inclure toutes les variables explicatives pertinentes car le succès de l'analyse en dépend.

Au Canada, la ville de Winnipeg est pionnière dans l'utilisation des modèles pour prédire le nombre de bris des conduites d'aqueduc grâce aux travaux de l'équipe d'I.C. Goulter. Cette équipe de recherche a développé une méthodologie pour quantifier les variations temporelle et spatiale du taux de bris des conduites d'aqueduc. Ces chercheurs ont observé que l'occurrence d'un premier bris sur une conduite permet de prédire la probabilité d'occurrence des bris dans un rayon de 20m et à l'intérieur d'un intervalle de 60 jours. La distribution des bris subséquents peut être approximée par une distribution de Poisson (Goulter *et al.*, 1993).

La distribution de Poisson a aussi été utilisée par Andreou *et al.* (1987) pour décrire la distribution des bris subséquents à un premier bris alors qu'un modèle de risques proportionnels a été utilisé pour prédire les probabilités d'occurrence de ces premiers bris. Brémond (1996) a aussi utilisé un modèle de risques proportionnels pour prédire le taux de bris dépendant de facteurs de risque et un modèle de Weibull pour prédire la fonction dépendante du temps. Ces exemples d'application de l'analyse de survie démontrent que cette approche est valable et ces études affirment qu'elle est plus performante que les autres types de modèle lorsque les données sont disponibles en qualité et en quantité.

3 CHOIX ET STRATÉGIE DE MODÉLISATION

Trois approches complémentaires seront utilisées pour la modélisation. D'abord, des statistiques de bases seront calculées pour approfondir notre connaissance des données de chacune des municipalités à l'étude (*e.g.* nombre de bris par diamètre, par type de matériau,

par mois, par âge, etc.). Un modèle de type agrégé sera développé. La seconde approche sera d'identifier les variables explicatives (ou "facteurs de risque") à l'aide d'une analyse de covariance. Enfin, la dernière approche consiste à appliquer l'analyse de survie.

À notre connaissance, aucune étude n'a tenté de comparer les trois types de modèle cités dans la littérature pour 4 ou 5 municipalités différentes. Cette comparaison nous permettra d'établir la validité et les limites inhérentes à chacune de ces approches. Cette expertise nous sera essentielle lorsque nous transposerons ces modèles à des villes possédant moins de données, mais dont les facteurs de risque sont similaires à ceux des municipalités étudiées.

4 ACQUISITION DE L'INFORMATION DE BASE

L'acquisition de l'information de base dans les municipalités se fait en plusieurs phases. La première a été d'identifier 4 ou 5 municipalités possédant des bases de données informatisées sur les caractéristiques de leur réseau d'aqueduc et sur l'historique des bris. Nous avons d'abord envoyé à 7 villes, suggérées par nos collègues d'INRS-Urbanisation, une télécopie avec un aperçu du projet et un questionnaire de quatre questions portant sur le niveau d'informatisation de la municipalité. Ceux-ci ont été adressés aux directeurs des Travaux Publics. Le questionnaire devait nous être retourné dans les plus brefs délais par télécopieur. Nous avons ensuite téléphoné aux responsables des réseaux d'aqueduc ayant retourné le questionnaire pour discuter des résultats et prendre rendez-vous lorsque la municipalité était en mesure de nous fournir les données nécessaires dans un format utilisable. Nous avons aussi téléphoné aux responsables des réseaux d'aqueduc n'ayant pas retourné le questionnaire afin d'obtenir les réponses et prendre rendez-vous le cas échéant.

Les municipalités intéressées à collaborer à notre étude et à nous fournir des données (en date du 1^{er} février 1997) sont présentées dans le tableau ci-dessous:

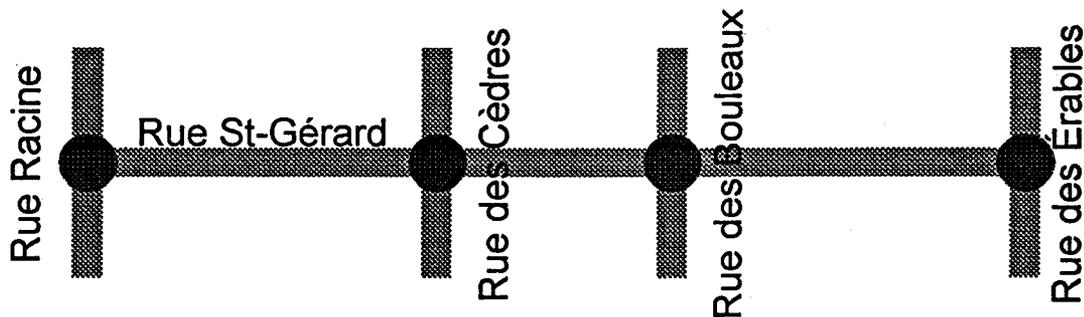
Date de la rencontre	Municipalité	Personne(s)-ressource(s)	Population	Longueur du réseau d'aqueduc (km)
20/01/97	Chicoutimi	Normand Bouchard	64000	325
21/01/97	Jonquière	Réjean Munger et Michel Fédak	59000	275
29/01/97	Gatineau	Michel Chevalier	105000	402
30/01/97	Laval	Pierre Lamarre et Michel Leclair	345000	1400

Des rencontres d'une demi-journée ont eu lieu afin de présenter le projet et de discuter des possibilités de collaboration. Nous avons été accueillis avec beaucoup d'enthousiasme et avons perçu une motivation certaine à nous fournir les données nécessaires. Les responsables se sont dit très intéressés par l'étude en cours et nous avons été à même de constater l'importance de la question de la détérioration des infrastructures à leurs yeux. Une collaboration étroite s'est rapidement établie avec ces personnes-ressources et nous tenons à les informer promptement des développements du projet.

Chaque municipalité répertorie les bris de façon différente et cartographie son réseau avec ses attributs propres. Souvent les bris relèvent du service des Travaux Publics alors que la cartographie relève du service du Génie ou de l'Environnement. Les villes de Chicoutimi et Gatineau ont pu nous fournir la majorité des données sur place. La ville de Laval s'est engagée à nous envoyer ses données vers la fin de la semaine du 3 au 7 février. La ville de Jonquière a demandé un temps de réflexion puisqu'elle doit effectuer un certain travail de structuration afin de compiler ses données dans un format utilisable. Nous tenterons de communiquer avec eux dans la semaine du 3 au 7 février. Suite à ces rencontres et avec l'aide d'INRS-Urbanisation, nous tentons de repérer une ou deux autres municipalités pour ajouter à l'étude.

5 TRAITEMENT DE L'INFORMATION

L'unité spatiale utilisée pour la modélisation est le tronçon d'aqueduc. En général, le réseau d'aqueduc se trouve plus ou moins sous le centre de la rue. Un tronçon est donc localisé par **le nom de la rue** au-dessus de la conduite, **du nom de la rue** à l'intersection définissant le début du tronçon jusqu'**au nom de la rue** à l'intersection définissant la fin du tronçon (cependant plusieurs exceptions à cette règle existent). Par exemple, sur le schéma suivant, la rue St-Gérard serait divisée en trois tronçons.



Deux bases de données doivent être structurées, celle contenant les données du réseau d'aqueduc conduite par conduite et celle contenant l'information sur les bris. Les bases de données contiennent les informations suivantes:

1) Base de données sur le réseau d'aqueduc

- ▶ Numéro d'identification du tronçon
- ▶ Nom de la rue au-dessus du tronçon
- ▶ Nom de la rue à l'intersection définissant le début du tronçon (De)
- ▶ Nom de la rue à l'intersection définissant la fin du tronçon (À)
- ▶ Diamètre
- ▶ Longueur
- ▶ Type de matériau
- ▶ Âge (Période d'installation)
- ▶ Type de sol
- ▶ Occupation du sol (résidentiel, commercial ou industriel)

2) Base de données sur les bris

- Date du bris
- Localisation de la conduite
- Type d'intervention

La localisation d'un bris par le service des Travaux Publics se fait habituellement par numéro civique et nom de la rue ou par les deux noms de rue dans le cas d'une intersection. Or, les numéros civiques ne sont pas liés au réseau d'aqueduc. Il faut donc établir un lien entre les deux bases de données de façon manuelle *i.e.* créer une table de référence contenant les numéros de tronçons et les numéros civiques pairs et impairs au début et à la fin de chaque tronçon. Une fois que ce lien existera toutes les analyses statistiques de base, les analyses de covariance et les analyses de survie pourront être effectuées.

6 CONCLUSION

Notre mandat est de développer un modèle de prédiction du nombre de bris des conduites d'aqueduc et d'égout afin de calculer les besoins en capitaux pour la réfection et la construction d'infrastructures d'eaux pour des horizons de 5, 10 et 20 ans. En date du 1^{er} février 1997, le calendrier de réalisation du projet est en tout point respecté. Les phases de "Revue des modèles" et de "Choix de modélisation" sont terminées. Les phases "Acquisition de l'information de base" et "Traitement de l'information, choix des variables" sont en cours pour 3 municipalités (Chicoutimi, Gatineau et Laval) et nous tentons d'identifier une ou deux autres municipalités pour les joindre à l'étude. L'expérience acquise avec les 3 municipalités collaboratrices nous sera très utile pour progresser rapidement avec les municipalités qui se joindront à l'étude durant le mois de février.

La phase "Finalisation du choix du modèle" est théoriquement terminée bien que nous devons progresser dans la structuration des bases de données pour chacune des municipalités et commencer les analyses avant de pouvoir réellement finaliser la stratégie de modélisation. À ce stade, les phases "Développement, adaptation, validation", "Calibration

sur des sites" et "Applications à des sites témoins" sont envisagées sans grande difficulté. À la suite de la revue de littérature, nous sommes très conscients que le succès de la phase "Essais de transposition" dépend d'au moins deux hypothèses difficilement vérifiables pour l'instant. La première hypothèse est que les variables explicatives ("facteurs de risque") peuvent être identifiées lors des analyses de covariance. Il se peut que les données recueillies par les municipalités ne permettent pas de tenir compte de toutes les variables jouant un rôle dans le phénomène des bris de conduite, en raison de la complexité du phénomène et de l'état de la connaissance. La seconde hypothèse est que les facteurs de risque des municipalités-témoins sont les mêmes que ceux des municipalités auxquelles le modèle sera transposé. Ainsi, nous avons comme objectif de minimiser le nombre de paramètres significatifs à inclure dans l'analyse afin justement de faciliter la transposition.

7 RÉFÉRENCES

- Andreou, S.A., Marks, D.H. et R.M. Clark. (1987). A New Methodology for Modelling Break Failure Patterns in Deteriorating Water Distribution Systems: Theory. *Advances in Water Resources*, 10 (3): 11-20.
- Brémond, B. (1996). Programmation du renouvellement des conduites d'eau potable et d'assainissement - Apport des modèles statistiques. *Neuvièmes entretiens du Centre Jacques Cartier - Colloque "Les nouvelles infrastructures urbaines à l'heure du développement durable"*, Montréal, Québec.
- Clark, R.M., Stafford, C.L., Laugle, M.G. et J.A. Goodrich. (1982). Determinants and Options for Water Distribution System Management: A Cost Evaluation. *Drinking Water Research Division, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, Ohio*, 44 pages.
- Elnaboulsi, J. et O. Alexandre. (1996). Le renouvellement des réseaux d'eau potable: une revue critique. *Canadian Water Resources Journal*, 21 (4): 341-354.
- Goulter, I.C., Davidson, J. et P. Jacobs. (1993). Predicting Water-Main Breakage Rates. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119 (4): 419-436.

-
- Habibian, A. (1994). Effect of Temperature Changes on water-Main Breaks. *Journal of Transportation Engineering*, 120 (2): 312-321.
- Habibian, A. (1992). Developing and Utilizing Data Bases for Water Main Rehabilitation. *Journal of the American Water Works Association*, 84 (7): 75-79.
- Karaa, F.A. et D.H. Marks. (1990). Performance of Water Distribution Networks: Integrated Approach. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 4 (1): 51-67.
- Kettler, A.J. et I.C. Goulter. (1985). An Analysis of Pipe Breakage in Urban Water Distribution Networks. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 12: 286-293.
- Male, J.W., Walski, T.M. et A.H. Slutsky. (1990). Analyzing Water Main Replacement Policies. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 116 (3): 362-374.
- Shamir, U. et C. Howard. (1979). Analytic Approach to Scheduling Pipe Replacement. *Journal of the American Water Works Association*, 71 (5): 248-258.
- Walski, T.M. et A Pelliccia. (1982). Economic Analysis of Water Main Breaks. *Journal of the American Water Works Association*, 74 (3): 140-147.