

Développement d'une méthodologie de repérage des conduites d'aqueduc présentant des fuites

F. Paquin, D. Babineau, F. Brissette et R. Leconte

Résumé : Le présent article aborde la problématique des fuites dans les réseaux de distribution d'eau potable. Compte tenu des pertes monétaires reliées aux fuites et du contexte municipal actuel, il est important de réduire celles-ci à un niveau acceptable. Plusieurs techniques permettent d'éliminer les fuites avec efficacité. Cependant, lorsque les municipalités souhaitent mettre sur pied un programme d'élimination des fuites sur leurs réseaux, ces techniques peuvent s'avérer dispendieuses. Cette recherche vise donc à développer une nouvelle technique permettant aux gestionnaires municipaux de cibler les secteurs ou tronçons de conduites les plus problématiques. Contrairement aux autres techniques, celle-ci est basée sur l'étude des chutes de pression occasionnées par les fuites. Cette nouvelle approche de détection de fuites présente un avantage certain en fournissant aux municipalités une idée générale du problème de fuite sur l'ensemble de leurs réseaux. La technique proposée permet d'identifier les secteurs ou conduites présentant des problèmes de fuites, il est donc possible de cerner plus précisément lesquels nécessitent une auscultation plus poussée avec l'aide des techniques existantes. Les coûts reliés à l'utilisation de ces techniques pourraient par le fait même être réduits grâce à un diagnostic préliminaire efficace.

Mots clés : conduite, détection, eau, fuite, infrastructure, localisation, pression, réseau.

Abstract: The present article deals with the problem of leaks in drinking water distribution networks. Because of monetary losses related to those leaks, and of the current municipal context, it is important to reduce them to an acceptable level. Several techniques allow efficient elimination of leaks. However, when municipalities wish to set up a program for leak elimination on their networks, these techniques can turn out to be expensive. This research aims at developing a new technique which allows municipal managers to target the most problematic sectors or pipe reaches. Unlike the other techniques, this one is based on the study of pressure drops caused by leaks. This new leak detection approach presents a certain advantage by providing municipalities with a general idea on the leak problem which affects their networks as a whole. The proposed technique allows the identification of sectors or pipes affected with leak problems so that it is possible to identify more precisely which ones request a more extensive auscultation through other existing techniques. The costs related to the use of these techniques might be reduced as a result of an efficient preliminary diagnosis.

Key words: pipe, detection, water, leak, infrastructure, tracking, pressure, network.

[Journal translation]

Introduction

Une grande partie des infrastructures des villes canadiennes ont été construites durant la période d'après-guerre et elles arrivent aujourd'hui à peu près toutes au terme de leur

vie utile. Peu d'intérêt et par conséquent de fonds ont été accordés au problème de dégradation des infrastructures au profit d'autres problèmes suscitant davantage l'intérêt du public tels l'éducation, la santé ou l'environnement. Ainsi, le financement nécessaire pour assurer la subsistance des infrastructures est demeuré longtemps en deçà du niveau minimum requis.

Différentes causes sont à l'origine de la détérioration des infrastructures, la principale étant un entretien insuffisant consécutif à des problèmes de financement. L'étalement urbain associé à la croissance démographique rapide a créé une forte demande pour de nouveaux services, négligeant ainsi les infrastructures existantes (Université McGill 1996).

Les infrastructures québécoises, représentant un investissement de 50 milliards de dollars (Croteau 1995), sont sérieusement menacées. Bien que depuis 1986 l'ensemble des municipalités du Québec ait investi en moyenne plus de 480 millions de dollars par année pour se doter d'infrastructures liées aux services d'eau, ou encore pour procéder à la réfection d'ouvrages déjà existants, il est prévu qu'elles devront investir sur une période de 15 à 20 ans une somme de 5 à 7

Reçu le 31 mai 1999.

Accepté le 6 octobre 1999.

F. Paquin.¹ Aqua Rehab Inc., 2145, rue Michelin, Laval, QC H7L 5B8, Canada.

F. Brissette et R. Leconte. Département de génie de la construction, École de technologie supérieure, Université du Québec, 1100, rue Notre-Dame Ouest, Montréal, QC H3C 1K3, Canada.

D. Babineau. Service de l'hygiène du milieu, Ville de Rosemère, 100, rue Charbonneau, Rosemère, QC J7A 3W1, Canada.

Les commentaires sur le contenu de cet article doivent être envoyés au directeur scientifique de la revue avant le 30 juin 2000.

¹Auteur correspondant (e-mail : pa.cha@sympatico.ca).

milliards de dollars (Gouvernement du Québec 1997). Selon d'autres sources, le retard accumulé a été établi en 1995 à près de 6 milliards (Université McGill 1996).

Plusieurs techniques permettant de localiser les fuites sont actuellement disponibles. Basées sur le son émis par les fuites, ces techniques, lorsque utilisées par des opérateurs d'expérience, permettent généralement de localiser les fuites avec précision. Toutefois, étant donné le coût de celles-ci, leur application à l'échelle d'un réseau complet peut être fastidieuse. Il est donc souhaitable de développer une technique permettant aux gestionnaires municipaux d'obtenir rapidement une vue d'ensemble de leur réseau, et ce, de façon économique.

La présente recherche, basée sur la chute de pression occasionnée par les fuites, tente donc de développer une méthodologie simple et efficace permettant de cibler les secteurs ou tronçons de conduite susceptible de présenter un problème de fuite important. La détection s'effectue par simple comparaison entre une pression réelle à une borne d'incendie et une pression de référence. Cette dernière correspond à la pression que l'on devrait normalement obtenir si le réseau était parfaitement étanche. Une fois l'état du réseau connu de façon préliminaire, les techniques disponibles actuellement pourraient être ensuite utilisées pour localiser les fuites et les réparer. Ainsi, plutôt que d'attendre que les fuites apparaissent en surface et causent des dommages, celles-ci seraient réparées avant même qu'elles n'entraînent des dépenses imprévues pour les municipalités.

Méthodes de détection existantes

Pour justifier un programme de détection et de localisation de fuites sur un réseau, il est important d'évaluer d'abord l'ampleur du problème. Pour ce faire, différentes techniques sont utilisées, la principale étant le bilan d'eau.

Techniques d'évaluation des fuites

Le bilan d'eau consiste simplement à calculer la différence entre le volume total d'eau consommé ou utilisé et le volume produit pendant une certaine période. Le but premier du bilan est d'obtenir une idée globale de la proportion d'eau perdue à travers un réseau (American Water Works Association 1990). Pour obtenir des résultats acceptables, le bilan demande une bonne connaissance des consommations individuelles (compteurs) ce qui est toutefois le cas de quelques municipalités québécoises seulement. Il indique aux gestionnaires municipaux la nécessité ou non d'établir un programme de détection et de localisation des fuites. En appliquant cette technique à des portions de réseau pouvant être isolées, il est possible d'identifier les secteurs présentant un pourcentage élevé de fuites (American Water Works Association 1987). Même si aucune anomalie n'est détectée, les informations recueillies peuvent être très utiles, puisqu'en vérifiant régulièrement la consommation des différents secteurs, tout changement soudain causé par un bris de conduite, par exemple, peut être rapidement détecté.

Outre le bilan d'eau, il est possible d'évaluer l'ampleur des fuites dans un réseau en comparant les débits de distribution réels de nuit à des valeurs théoriques disponibles dans la littérature. Finalement, en raison de l'état général des réseaux d'égouts, il peut arriver que l'eau perdue par une fuite

emploie un chemin préférentiel et s'infiltré dans une conduite d'égout à proximité. Ainsi, par un simple contrôle des débits d'eaux usées dans ces réseaux il est parfois possible de déterminer la présence de fuites.

Bien souvent, à partir d'une banque de données, les municipalités sont en mesure d'analyser l'historique de bris et d'évaluer l'état de dégradation de leurs réseaux. Cette analyse multi-critère peut permettre d'identifier les types de conduites et les secteurs plus propices aux fuites.

Techniques de détection et de localisation des fuites

Les techniques de détection et de localisation utilisées actuellement sont en majorité basées sur le bruit émis par les fuites (Association québécoise des techniques de l'eau 1980). À mesure que l'eau sort de la conduite pressurisée, elle perd et transmet de l'énergie à la paroi de la conduite et au sol environnant. Ce transfert d'énergie se traduit alors par la génération d'ondes sonores pouvant être captées par des appareils électroniques et parfois même par l'oreille humaine.

Différents facteurs peuvent influencer la propagation des ondes sonores dont la pression à l'intérieur de la conduite, le type de matériel et le diamètre de la conduite, le type de sol et le type de surface (Heim 1979). Depuis plusieurs années, pour limiter ce problème, des amplificateurs ont été ajoutés aux équipements de détection. En plus du problème de transmission des ondes s'ajoute celui causé par les bruits parasites. Puisque ces bruits proviennent en grande partie de la circulation routière, du vent et de la pluie, la détection est généralement plus fructueuse de nuit. Dans le but d'optimiser les différents équipements, des filtres permettant de sélectionner la plage sonore sont aussi disponibles.

Techniques d'écoute sur le réseau

Le bruit émis par une fuite voyage sur une distance beaucoup plus grande le long d'une conduite qu'à travers le sol (American Water Works Association 1990). Les conditions d'écoute sont donc nettement meilleures directement sur le réseau que sur le sol. Toutefois, les techniques d'écoute sur le réseau ne sont pas adaptées pour la localisation mais plutôt pour la détection de fuites. Ainsi, en procédant à l'écoute successive de plusieurs équipements telles des vannes de rues ou des bornes d'incendie, il est possible de déterminer la présence de fuites dans certains secteurs.

Le corrélateur acoustique est un autre appareil fonctionnant par écoute sur le réseau. Par contre, en plus de détecter des fuites, il permet aussi de les localiser. Équipé de capteurs et d'amplificateurs, le corrélateur est un appareil très sophistiqué qui permet habituellement de localiser une fuite avec une grande précision.

Les ondes émises par les fuites sont captées par deux capteurs disposés de part et d'autre de la fuite à localiser, généralement sur des vannes ou des bornes d'incendie. Les signaux perçus par les capteurs sont ensuite transmis par téléométrie et analysés par le corrélateur. Ce dernier calcule la position de la fuite en comparant les délais de transmission des signaux détectés par ses deux capteurs.

Techniques d'écoute au sol

Les techniques d'écoute au sol sont généralement utilisées pour localiser les fuites. Après avoir détecté une fuite par

écoute sur le réseau, celle-ci est ensuite localisée à l'aide d'un appareil de type géophone. La procédure est simple, il suffit de sonder la chaussée ou le sol au-dessus de la conduite problématique. La fuite est localisée en identifiant le point où l'intensité du signal sonore capté par le microphone est la plus forte. Les bruits parasites étant un problème pour ces techniques d'écoute, certains appareils récents sont munis de filtres sonores. La figure 1 montre l'intensité du signal capté en fonction de la position du microphone au-dessus d'une fuite.

Une autre technique permet de détecter des fuites dans des réseaux de distribution d'eau potable. Il s'agit de l'injection de gaz traceurs. Bien qu'assez efficace, on a habituellement recours à cette technique seulement lorsque les autres techniques ont été inefficaces, compte tenu de son coût élevé. Le principe est fort simple. Il consiste à injecter un gaz pressurisé dans la conduite susceptible de fuir après l'avoir préalablement isolée. Ensuite il suffit d'attendre que le gaz s'échappe par la fuite à localiser. Celle-ci est finalement localisée en détectant la présence du gaz en surface à l'aide d'appareils adaptés.

Le recours à la modélisation d'un réseau (Evens et al. 1989), peut aussi s'avérer utile pour aider à la détection de fuites. En effet, cette méthode permet de vérifier s'il existe des problèmes de pression sur un réseau en comparant les pressions du modèle aux pressions réelles.

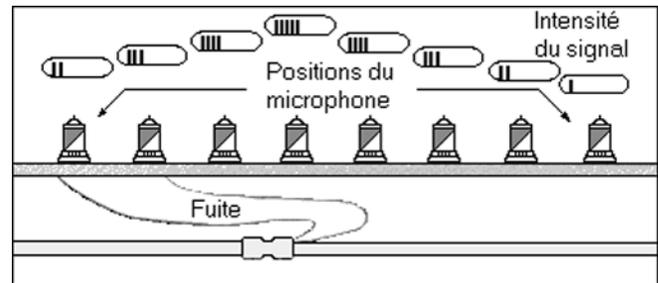
Technique proposée

La démarche couramment suivie pour éliminer les fuites comporte deux étapes. D'abord il y a l'évaluation du problème de fuites à l'intérieur d'un réseau et ensuite la détection et la localisation de ces fuites. Les techniques de détection et de localisation présentées plus haut sont habituellement utilisées de manière exploratoire à moins qu'une municipalité possède et applique déjà un programme de détection de fuite et quelle ait identifié certains secteurs problématiques. Compte tenu du peu d'informations obtenues lors de la première étape, l'utilisation de ces techniques pour diagnostiquer l'état d'un réseau complet peut parfois s'avérer dispendieuse. Le développement d'une nouvelle technique permettant de cibler seulement les secteurs ou tronçons de conduite susceptibles de fuir est donc souhaitable. Cette information permettrait ainsi de minimiser les coûts des programmes de réduction de fuites en optimisant l'utilisation des différentes techniques d'écoute.

Méthodologie utilisée

En plus d'émettre des ondes sonores et des vibrations, les fuites ont pour effet de créer une baisse de pression dans un réseau. La méthodologie utilisée consiste à comparer les pressions réelles sur un réseau à des pressions de référence. Les pressions de référence correspondent aux pressions que l'on devrait normalement obtenir sur un réseau si celui-ci ne présentait aucune fuite. Puisque les bornes d'incendie sont des points de mesure répartis sur la totalité d'un réseau, les comparaisons sont effectuées au niveau de ces équipements. La détermination des secteurs problématiques se fait donc en vérifiant l'importance de l'écart enregistré entre la pression de référence et la pression réelle à chacune des bornes d'incendie.

Fig. 1. Appareil typique d'écoute au sol.



L'objectif de cette étude est d'abord de vérifier la faisabilité de la méthodologie proposée. Pour cette raison, les pressions de références et les pressions réelles sont obtenues en modélisant le réseau de distribution tel qu'il se présente sur le terrain. Les pressions réelles associées au réseau avec fuites proviennent de simulations de fuites fictives d'intensité variable à différents endroits sur le réseau. Une partie du réseau de la Ville de Rosemère (Québec) a été utilisé pour la modélisation à l'aide du logiciel de balancement hydraulique AQUAGEO. Un secteur résidentiel regroupant une centaine de résidences et comprenant près de 3 km de conduites de diamètres variant entre 150 et 400 mm de diamètre a servi de modèle.

Cueillette d'informations

Plusieurs informations sont requises pour établir le modèle mathématique. C'est le cas notamment de la position des nœuds qui détermine la longueur de chacune des conduites. Cette information, ainsi que le diamètre, sont généralement disponibles sur le plan directeur du réseau de distribution de la ville. En numérisant ce plan et en l'important dans AQUAGEO, on obtient la matrice de départ. Les caractéristiques des conduites telles le diamètre, l'âge et le type sont généralement disponibles auprès des services municipaux. Pour ce qui est de l'emplacement des vannes de rues et des bornes d'incendie, un relevé a été effectué sur le terrain pour les positionner avec précision.

Bien que l'âge et le type de conduite donnent une idée de leur état, des mesures ont été effectuées sur le réseau de Rosemère pour établir les coefficients de Hazen-Williams (C_{HW}) de trois conduites typiques. Les C_{HW} sont déterminés à partir de l'équation de Hazen-Williams [1].

$$[1] \quad C_{HW} = 3,592 \left(\frac{L}{J} \right)^{0,54} \left(\frac{Q}{d^{2,63}} \right)$$

Où L est la longueur de la conduite entre les bornes d'incendie servant de points de mesure (m), J la perte de charge mesurée (m), Q le débit à travers la conduite (m^3/s) et d le diamètre de la conduite (m).

Ces coefficients permettent ainsi d'établir une image plus représentative de l'état du réseau réel. À titre d'exemple, le tableau 1 présente les C_{HW} obtenus à partir des mesures effectuées sur le terrain et les C_{HW} provenant de la littérature.

Mesure de la consommation d'eau résidentielle

Pour obtenir un portrait conforme du réseau étudié, il importe d'incorporer au modèle des valeurs de consommation des résidences du secteur. Compte tenu de l'homogénéité du

Tableau 1. Tableau comparatif des C_{HW} mesurés et théoriques.

Type de conduite	Diamètre (mm)	Année de construction	C_{HW} mesurés	C_{HW} théoriques
Fonte grise	150	≈1967	54	78
Fonte grise	200	≈1967	52	83
Fonte grise	250	≈1967	39	83

secteur, une cueillette de données de consommation pour trois résidences typiques du secteur d'étude a été effectuée sur une période d'une semaine.

Les compteurs d'eau de résidences permettent de connaître le volume d'eau consommé pendant une certaine période de mesure, habituellement un an. Ainsi, pour évaluer la consommation d'eau pour une certaine période de la journée, il est important de connaître le profil de consommation pendant cette période. Pour ce faire, un appareil pouvant détecter les impulsions magnétiques des compteurs d'eau et les convertir en un signal numérique a été utilisé. Une fois converties, les impulsions étaient cumulées par un circuit d'acquisition de données puis transmises à un ordinateur portatif à intervalles de 5 minutes par le port de communication. La figure 2 montre l'installation des équipements reliés à un compteur d'eau.

Un logiciel adapté à cette application précise permettait d'enregistrer les données fournies par le circuit ainsi que la date et l'heure de réception. Connaissant le volume correspondant à une impulsion, les débits de consommation étaient calculés pour chaque intervalle de 5 minutes. La courbe de consommation journalière, présentée à la figure 3, a ensuite été établie en fonction des données recueillies auprès des trois résidences types.

Pour évaluer l'influence des périodes de mesure de jour et de nuit, deux débits de consommation ont été extraits de la courbe de consommation. Ainsi, selon la courbe de la figure ci-haut, le débit moyen de consommation est fixé à 0,075 m³/jour pour la nuit puis à 0,621 m³/jour pour le jour. De la même façon, deux pressions d'opération différentes ont été établies d'après des données réelles obtenues auprès du service de l'hygiène du milieu de la Ville de Rosemère, soit 490 kPa la nuit et 560 kPa le jour. Ces pressions sont fixées aux différents points d'alimentation de la portion de réseau étudiée.

Présentation et interprétation des résultats

Description des simulations

Les fuites de grande importance, soit supérieures à 1400 L/min selon la Ville de Rosemère, sont en général facilement détectables, puisqu'elles émergent rapidement en surface ou sont détectées via les rapports de débits des services municipaux. Ces débits de fuite ne sont donc pas visés par la présente étude, puisque au-delà de cette valeur aucune technique spécialisée n'est requise pour détecter les fuites.

Pour vérifier l'effet d'une fuite, deux paramètres propres à celle-ci ont été analysés, soit son intensité et sa position. Ainsi, l'influence d'une fuite a été vérifiée par simulation mathématique en faisant varier son débit et en la déplaçant le long d'un tronçon de conduite limité par deux bornes d'incendie.

Fig. 2. Système d'acquisition de données de consommation à partir d'un compteur d'eau.

Les résultats présentés ici sont tous exprimés en termes de différence de pression par rapport à une pression de référence. Cette différence correspond à la baisse de pression occasionnée par une fuite. L'équation 2 qui suit présente les deux termes intervenant dans le calcul de l'écart de pression.

$$[2] \quad \Delta P = P_{\text{référence}} - P_{\text{fuite}}$$

Où $P_{\text{référence}}$ est la pression de référence lorsqu'il n'y a aucune fuite (kPa) et P_{fuite} la pression réelle lorsqu'il y a fuite (kPa).

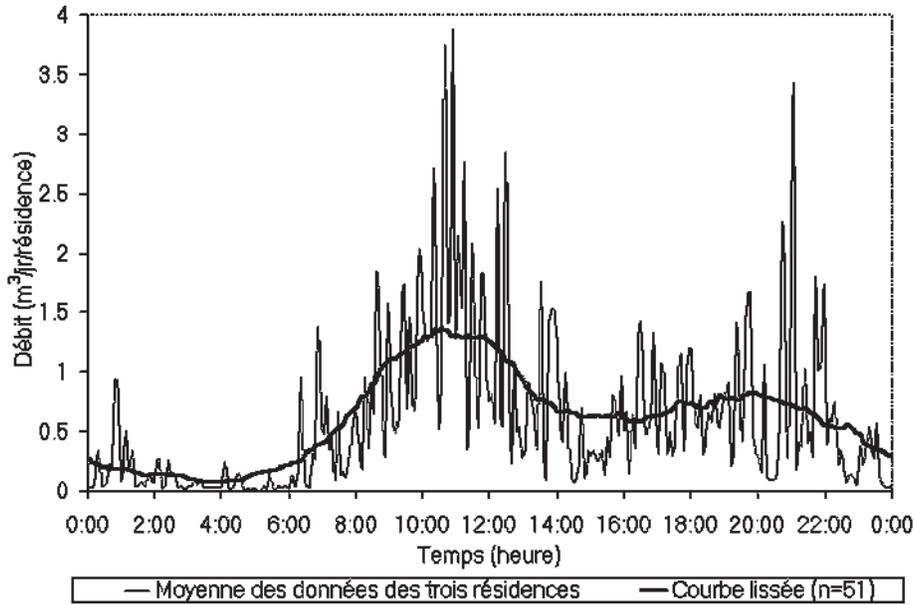
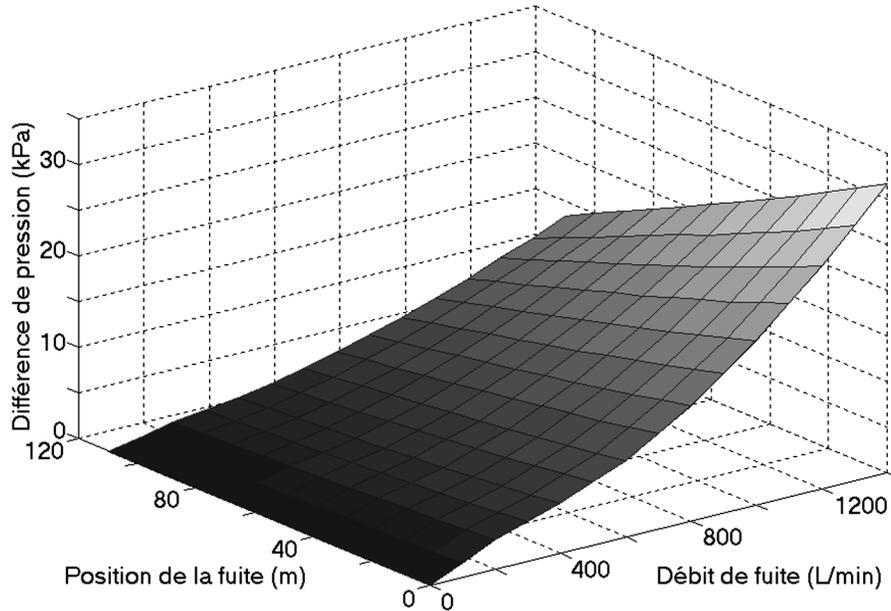
Analyse des caractéristiques intrinsèques d'une fuite

La première série de simulations visait à vérifier l'effet d'une fuite d'intensité variable le long d'un tronçon de conduite. Les paramètres pour la période de nuit ont été utilisés dans ce cas-ci. La figure 4 présente les résultats de la série de simulations sur une conduite en fonte grise de 150 mm de diamètre mesurant un peu plus de 100 m. Les résultats obtenus étaient prévisibles. En effet, plus une fuite est importante et plus elle est près de la borne d'analyse, plus la différence de pression causée par celle-ci est aussi importante. Dans le cas étudié, cette différence atteignait 30 kPa pour les débits les plus élevés, ce qui est non négligeable si on la compare aux pressions d'opérations normales du réseau qui sont de l'ordre de 500 kPa.

Vérification de l'influence d'une jonction de conduites entre la fuite et la borne de référence

Contrairement au cas précédent, le tronçon de conduite étudié, mesurant près de 150 m et possédant les mêmes caractéristiques que celui considéré précédemment, comportait une jonction de conduite. En raison de la présence de cette jonction, il est fort probable que la fuite soit alimentée par les conduites croisant le tronçon. La figure 5 présente les résultats de cette nouvelle série de simulations.

L'influence du débit de fuite présente la même tendance que celle observée pour le cas précédent. Toutefois, on remarque clairement sur cette figure un changement de pente marqué à mi-distance du tronçon de conduite. En fait, ce point d'inflexion correspond à la position de la jonction de conduites. Ainsi, l'influence d'une fuite s'estompe dès que celle-ci se trouve séparée de la borne d'analyse par une jonc-

Fig. 3. Courbes de consommation d'eau typique du secteur d'étude.**Fig. 4.** Influence des caractéristiques d'une fuite sur l'abaissement de pression.

tion avec d'autres conduites. Une fuite, séparée d'une borne d'incendie par une jonction, crée donc une baisse de pression plus faible que s'il n'y avait pas de jonction. Ainsi, une faible différence de pression ne correspond pas automatiquement à une fuite de faible intensité. Par conséquent il est préférable, pour maximiser les chances de détection de fuites, d'éliminer l'écoulement provenant des conduites raccordées à la jonction en fermant certaines vannes.

Analyse de sensibilité

Les résultats qui ont été présentés proviennent d'un modèle établi à partir de données recueillies sur le terrain. Certaines de ces données sont considérées comme étant exactes ou avec une grande précision, tandis que d'autres sont mesu-

rées et comportent un certain niveau d'incertitude. C'est le cas des C_{HW} des conduites, des élévations des nœuds et de la consommation des résidences.

Différents facteurs dont les appareils de mesures et l'état d'équilibre du réseau peuvent influencer la précision de la valeur des C_{HW} mesurés sur le terrain. Une erreur de 10% sur les résultats est probablement la meilleure précision que l'on peut espérer atteindre pour ces valeurs (Côté 1998).

Trois séries de simulations sont présentées à la figure 6 soit une première série avec les C_{HW} tels que mesurés sur le terrain (C_{HW} mesurés) et deux autres séries avec les valeurs limites compte tenu de l'erreur reliée à ce paramètre ($C_{HW} + 5$, $C_{HW} - 5$). Ces valeurs correspondent aux C_{HW} auxquels est appliquée l'erreur.

Fig. 5. Influence d'une jonction de conduites sur la différence de pression.

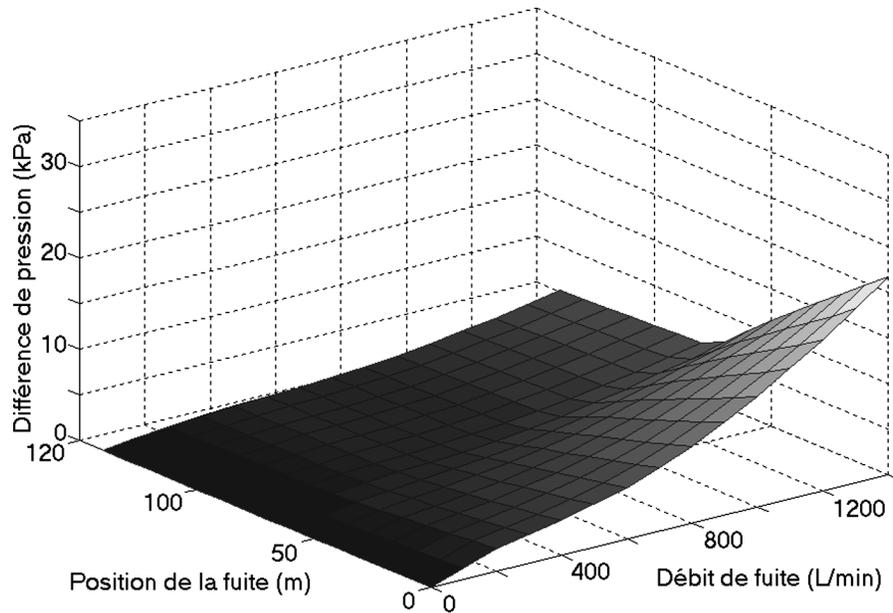
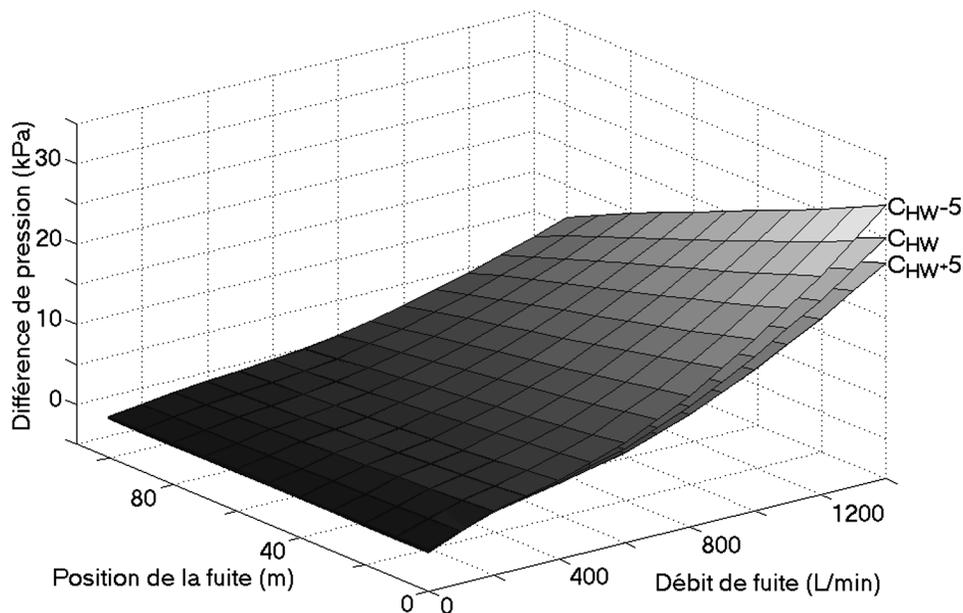


Fig. 6. Influence de l'incertitude des C_{HW} mesurés sur le terrain.



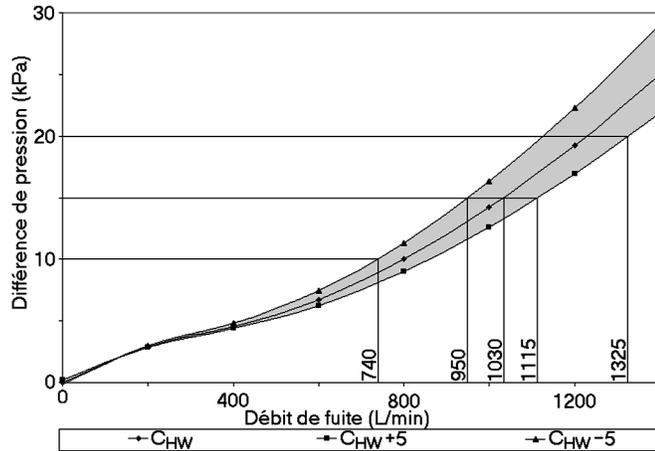
On constate à la figure 6 que lorsque les C_{HW} sont faibles, donc lorsque les conduites sont entartrées (fonte grise), la différence de pression causée par une fuite est plus importante. À l'inverse, lorsque les conduites sont plus lisses (chlorure de polyvinyle par exemple), la différence de pression diminue. La détection de fuite par la méthode étudiée semble donc plus prometteuse sur des réseaux dont la capacité hydraulique est affaiblie par la présence de tubercules.

En supposant que les réseaux de distribution suivent assez fidèlement le profil de la chaussée, une erreur de 300 mm sur l'élévation des nœuds est considérée comme étant réaliste et acceptable. Cette erreur affecte les deux termes de pression de l'équation 1, et ce, dans le même sens. Ainsi, puisque les résultats présentés sont en terme de différence de

pression, les erreurs associées aux deux termes de pression s'éliminent et n'influencent en rien la précision des résultats.

Les débits moyens déterminés auprès de trois résidences comportent eux aussi une certaine marge d'erreur. Toutefois, l'erreur relative sur ces débits cumulés aux nœuds est tellement faible par rapport au débit de fuite que leur influence sur la différence de pression est à toute fin pratique négligeable.

L'erreur combinée associée aux trois paramètres analysés correspond donc seulement à l'erreur sur les valeurs de C_{HW} introduits dans le modèle. La figure 6 présente donc la plage de résultats possibles en fonction des erreurs cumulées associées aux valeurs mesurées pour une borne d'incendie du réseau modélisé.

Fig. 7. Représentation des erreurs reliées aux ΔP_m et ΔP_t .

Comparaison entre les périodes de mesure de jour et de nuit

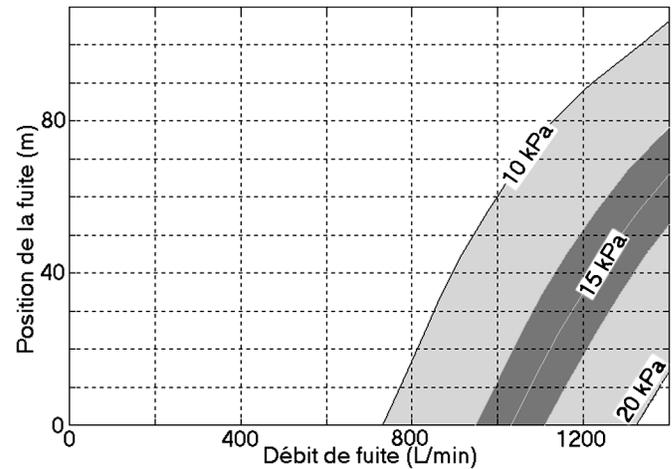
La pression à l'intérieur d'un réseau et les débits de consommation varient en fonction de la période de la journée. En effet, la nuit, les consommations d'eau diminuent significativement, et la pression moyenne à l'intérieur d'un réseau est abaissée. En fonction des valeurs caractéristiques établies pour ces deux paramètres, deux séries de simulations ont été effectuées dans le but d'analyser l'influence de la période de mesure sur la différence de pression calculée. Les résultats obtenus étaient pratiquement identiques. Par conséquent, le fait de comparer des mesures prises sur un réseau de jour à des pressions de références établies d'après les paramètres de jour ne semble pas affecter l'efficacité de la méthode proposée. Toutefois, en se référant à la courbe de consommation présentée à la figure 3, on remarque qu'il est préférable de mesurer les pressions lorsque celles-ci sont stables, c'est-à-dire en après-midi par exemple puisque la consommation résidentielle semble se stabiliser.

Importance de mesurer les coefficients de Hazen-Williams

Tel que présenté au tableau 1, des valeurs de C_{HW} en fonction du type et de l'âge d'une conduite sont disponibles dans la littérature. Ces valeurs peuvent être utilisées pour établir les pressions de référence aux différentes bornes d'incendie. Des simulations ont été effectuées pour comparer les pressions de référence obtenues avec les C_{HW} mesurés et théoriques. Les résultats démontrent que la pression de référence est très peu influencée par l'utilisation des C_{HW} mesurés ou théoriques. Les différences de pression calculées sont donc pratiquement les mêmes, compte tenu des faibles débits circulant dans le réseau. Il n'est donc pas impératif de mesurer des C_{HW} réels sur le terrain dans le but de déterminer les pressions de référence aux bornes d'incendie.

Analyse d'un cas favorable à la détection de fuites

Un cas favorable à la détection de fuites est un tronçon où les bornes d'incendie sont rapprochées et ne comportent aucune jonction avec d'autres conduites. La figure 6 présente les résultats obtenus pour différents débits de fuites situés à une distance variant de 0 à 100 m d'une borne d'incendie

Fig. 8. Plage correspondant aux caractéristiques de fuites possibles.

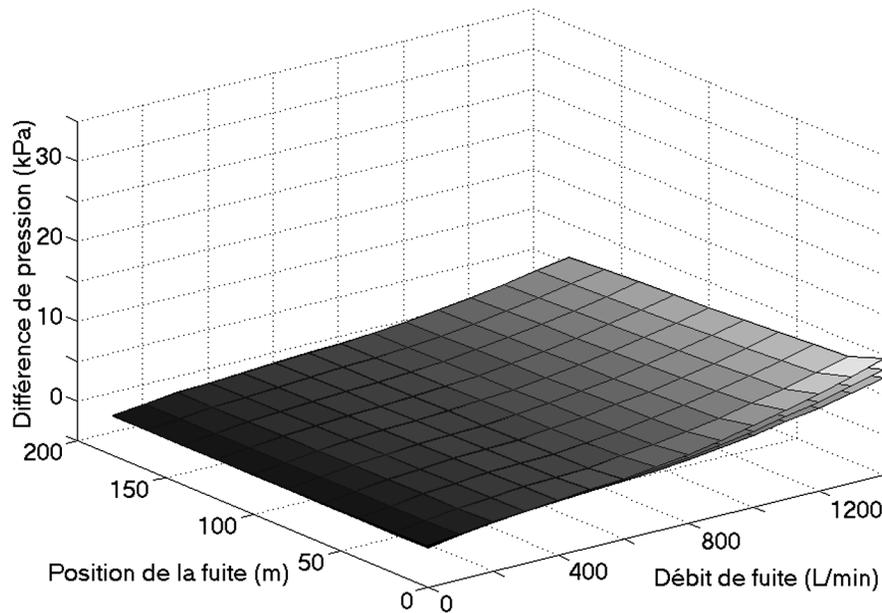
sur une conduite en fonte grise de 150 mm de diamètre. Les plans représentent donc la baisse de pression occasionnée par des fuites de différentes intensités et positions par rapport à une borne d'incendie précise. Le plan du centre correspond aux résultats obtenus d'après les valeurs exactes, tandis que les plans supérieurs et inférieurs représentent les résultats limites compte tenu des différentes incertitudes.

Une différence de pression qui serait calculée à partir d'une pression mesurée sur le terrain ne donne aucune indication sur l'intensité de la fuite si elle n'est pas comparée à une différence de pression théorique modélisée à cette même borne. Toutefois, en comparant la pression mesurée à la pression de référence, les erreurs associées aux deux termes se répercutent sur la différence obtenue. Différents facteurs sont attribuables à l'incertitude sur la pression mesurée sur le réseau dont le plus important est la fluctuation de la pression dans le réseau. D'après les écarts de pression remarqués sur le terrain lors de la détermination des C_{HW} , cette erreur est estimée à 3 kPa. Pour ce qui est de l'erreur de modélisation des pressions de référence, une valeur de 2 kPa est jugée réaliste. L'incertitude totale reliée à la différence de pression entre la pression mesurée et la pression de référence est donc de 5 kPa.

Pour pouvoir interpréter une différence de pression mesurée sur le terrain (ΔP_m), il importe de prendre en compte les erreurs associées à la fois à ce terme et à la différence de pression théorique modélisée (ΔP_t). La figure 7 montre une coupe de la figure 6 pour une fuite située tout près de la borne d'incendie analysée. Pour fin d'analyse, un ΔP_m de 15 kPa est présentée avec la plage d'erreur correspondante.

Considérant le ΔP_m (15 ± 5 kPa) et l'incertitude associée au ΔP_t , on remarque que le débit d'une fuite située à proximité de la borne est compris entre 740 et 1325 L/min. Toutefois, en réalité on ne connaît jamais la position de la fuite. Ainsi, il existe une multitude de combinaison de positions et d'intensités de fuites possibles pour chaque ΔP_m . Par exemple, en se référant à la figure 8, un ΔP_m de 15 kPa pourrait signifier la présence d'une fuite dont le débit minimum serait d'au moins 740 L/min. Cette valeur dépend toutefois des incertitudes reliées à la fois à la pression mesurée sur le terrain et à la pression de référence. Bien entendu, ad-

Fig. 9. Résultats provenant d'un cas défavorable.



venant la présence d'une fuite d'intensité supérieure à 1400 L/min, il est fort probable que celle-ci soit détectée par les services municipaux.

Analyse d'un cas défavorable à la détection de fuite

Pour le cas défavorable à la détection de fuites, un tronçon de conduite en fonte grise de 150 mm de diamètre et mesurant près de 200 m a été choisi. Deux conduites se raccordent au tronçon non loin de la borne d'analyse. Les bornes d'incendie servant de point de mesure sont ainsi plus éloignées, ce qui implique qu'une fuite située à mi-chemin entre les bornes a moins de chance d'être détectée.

La figure 9 présente l'effet d'une fuite modélisée le long d'un tronçon défavorable à la détection de fuites selon la méthode proposée. La différence de pression maximale causée par une fuite de forte intensité à proximité de la borne d'analyse ne dépasse pas 10 kPa. Tel que mentionné antérieurement, une incertitude de 5 kPa est rattachée au ΔP_m . Ainsi, d'après la figure 9, un ΔP_m de 5 kPa (5 ± 5 kPa) pourrait aussi bien provenir d'une fuite de grande importance à proximité de la borne que d'aucune fuite. Ainsi, tel que démontré à l'aide de cet exemple, dans certains cas il est difficile de conclure de la présence d'une fuite sur un réseau.

Implantation de la méthode

La problématique reliée aux fuites dans les réseaux de distribution d'eau potable est bien réelle. Étant donné la conjoncture économique à laquelle font face les villes actuellement, la réduction voir l'élimination des fuites représente une source d'économie intéressante pour celles-ci. Pour cette raison, la méthodologie de détection de fuites, basée sur l'analyse des pressions aux bornes d'incendie, vise à fournir aux gestionnaires municipaux un aperçu global du problème en vue d'optimiser les interventions en s'attaquant d'abord aux fuites les plus coûteuses. Par ailleurs, cette technique pourrait être intégrée à l'activité de rinçage des con-

duites de distribution d'eau où les données de pression peuvent être facilement prélevées.

Détection de fuites

Pour détecter une fuite dans les environs d'une borne d'incendie, il importe de comparer la pression mesurée à cette borne à une pression de référence. La pression de référence est obtenue en modélisant le réseau tel qu'il se présente sur le terrain, en excluant les fuites. Il importe donc de modéliser le réseau dans son état actuel. Pour ce faire, différentes informations sont requises telles la géométrie du réseau, les caractéristiques des conduites, la position des bornes d'incendie, les débits de consommation et la pression à l'entrée du réseau. Pour ce qui est des C_{HW} , les résultats des simulations démontrent que la pression de référence est peu affectée par une variation de ce paramètre. Ainsi, des valeurs théoriques pourraient être utilisées.

Lorsque le ΔP_m à une borne d'incendie est significatif, c'est-à-dire qu'il est plus important que l'erreur sur la valeur, il est donc possible qu'une ou plusieurs fuites soient présentes aux environs de cette borne. L'analyse des résultats d'une campagne de détection permet donc d'évaluer les secteurs d'un réseau problématique. Toutefois, à la fin de cette étape, l'importance relative des fuites détectées demeure inconnue.

Estimation de l'ampleur d'une fuite

Pour optimiser la détection, il est préférable pour une municipalité de se concentrer sur les fuites causant les plus grandes pertes d'eau potable. Pour ce faire, il est préférable de valider les résultats obtenus lors d'une campagne de détection de fuites dans le but d'optimiser les interventions. Il faut donc comparer les ΔP_m à des graphiques (comme ceux présentés aux figures 6 et 9) représentant l'influence de différentes fuites modélisées à proximité de chacune des bornes d'incendie ciblées lors de l'étape de détection de fuites. Ce deuxième exercice permet ainsi d'obtenir une idée de l'importance de chacune des fuites possibles. Finalement, en

comparant les résultats obtenus, les bornes d'incendie présentant les fuites les plus significatives sont classées par ordre d'importance, et les secteurs les plus problématiques peuvent ainsi être établis.

Bien que la détermination des pressions de référence ne soit pratiquement pas influencée par la précision des C_{HW} pris en compte par le modèle, elle influence toutefois la précision des pressions modélisées en présence de fuites. Ainsi, lorsqu'on cherche à évaluer l'importance relative des ΔP_m , des mesures de C_{HW} représentatives du réseau à l'étude sont donc requises.

Élimination des fuites

Une fois les fuites classées, il ne reste qu'à les localiser. Pour cette troisième et dernière étape, les techniques d'écoute traditionnelles telles le corrélateur peuvent maintenant être employées. Puisque la technique présentée ici indique où sont les problèmes majeurs et quelle est l'importance relative de chacun, l'application des techniques existantes se limite à la localisation exacte des fuites seulement. Les municipalités n'ont donc pas à payer pour l'exploration de leur réseau.

Conclusion

Les fuites dans les réseaux de distribution d'eau potable représentent un problème réel pour les municipalités en raison des pertes monétaires qu'elles entraînent. Bien que plusieurs techniques de détection de fuites existent déjà, la méthodologie proposée vise à fournir un indice supplémentaire quant aux secteurs les plus problématiques. Elle permettrait donc d'optimiser une campagne de réduction des fuites en complétant les techniques actuelles.

Contrairement aux techniques d'écoute au sol qui sont influencées par les bruits parasites, donc plus efficaces de nuit, la méthodologie proposée n'est que très peu influencée par la période de mesure. Les mesures de pression réelles pourraient donc être prises de jour lorsque la pression est assez stable.

Bien entendu les ΔP_m et les ΔP_t comportent des erreurs non négligeables, ce qui diminue la possibilité de détecter des fuites de moindre importance. Toutefois, puisque ces fuites entraînent des pertes d'eau plus faible, la méthodologie proposée demeure très intéressante pour les municipalités. Finalement, des recherches ultérieures sur un réseau plus étendu comportant différents types de consommation, de matériau et de diamètre de conduites devraient être entreprises pour vérifier l'exactitude des résultats théoriques obtenus jusqu'à présent.

Remerciements

L'auteur tient à remercier M. Robert Leconte et M. François Brissette de l'École de technologie supérieure (ÉTS) de Montréal pour avoir dirigé ce projet et pour leurs suggestions et commentaires. Il remercie aussi M. Daniel Babineau de la Ville de Rosemère pour son étroite collaboration au projet. Ce projet a été rendu possible grâce au support financier du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et à une bourse de deuxième cycle de l'ÉTS.

Bibliographie

- American Water Works Association. 1987. Leaks in water distribution systems, A technical/economic overview. American Water Works Association, Denver, Colo.
- American Water Works Association. 1990. Water audits and leak detection, 1st ed. American Water Works Association, Denver, Colo.
- Association québécoise des techniques de l'eau. 1980. Les fuites dans les réseaux de distribution d'eau: problèmes et solutions, Guide technique. Ministère de l'environnement du Québec, Montréal, Qué.
- Coté, B. 1998. Communication personnelle, Département de génie civil, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Qué.
- Croteau, J.-M. 1995. Infrastructures municipales — L'innovation technologique au service des municipalités. *Urba*, pp. 14–15.
- Evins, C., Stephenson, G., Warren, I.C. et Williams, S.M. 1989. Planning the rehabilitation of water distribution systems. Water Research Centre, Swindon.
- Gouvernement du Québec. 1997. Symposium sur la gestion de l'eau au Québec, Document de référence, Ministère de l'environnement du Québec, Montréal, Qué.
- Heim, P.M. 1979. Conducting a leak detection search. *Journal of American Water Works Association*, **71**(2) : 66–69.
- Université McGill. 1996. Report on the state of municipal infrastructure in Canada. Département de génie civil, Montréal, Qué.

Liste des symboles

- C_{HW} coefficient de Hazen–Williams
 d diamètre
 J perte de charge
 L longueur
 $P_{référence}$ pression de référence
 P_{fuite} pression réelle
 ΔP différence de pression
 ΔP_m différence de pression mesurée sur le terrain
 ΔP_t différence de pression théorique
 Q débit