

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

La détection des fuites dans les conduites de distribution d'eau Hunaidi, Osama

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40002903>

Solution constructive; no. 40, 2000-10-01

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=8324efb9-20c8-4878-8b0d-336acf17cf7b>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=8324efb9-20c8-4878-8b0d-336acf17cf7b>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

La détection des fuites dans les conduites de distribution d'eau

Par Osama Hunaidi

Cet article fournit un aperçu des techniques et des appareils utilisés pour détecter les fuites dans les réseaux de distribution d'eau. Cette information est basée sur des recherches menées récemment à l'IRC.

Dans la plupart des réseaux de distribution, une forte proportion de l'eau se perd pendant le transport entre les usines de traitement et les points de consommation. Le volume perdu est généralement de 20 à 30 % de la quantité produite¹. Dans certains réseaux, en particulier les plus anciens, les pertes peuvent atteindre 50 %. Les pertes d'eau peuvent avoir plusieurs causes : fuites, erreurs de mesure, utilisation publique (p. ex. pour la lutte contre les incendies ou le nettoyage des conduites), vol. La cause principale est généralement les fuites.

Les fuites se produisent dans différents éléments du réseau de distribution : conduites de transmission, conduites de distribution, branchements, raccords, vannes, bouches d'incendie. Les causes des fuites sont la corrosion, les défauts des matériaux, une mauvaise installation, une pression d'eau excessive, les coups de bélier, les mouvements de terrain attribuables à la sécheresse ou au gel, ainsi que les vibrations et les charges excessives dues à la circulation.

Les fuites d'eau constituent une perte d'argent et de ressource naturelle précieuse, et elles représentent un danger pour la santé publique. La perte économique principale est le coût de l'eau elle-même, de son traitement et de son transport. Il y a aussi l'endommagement du réseau (érosion de l'assise des conduites, rupture des canalisations) et des fondations des routes ou des



Figure 1. Les fuites d'eau ont pour effet d'endommager le réseau de distribution d'eau (érosion de l'assise des conduites, rupture des canalisations) et les fondations des routes ou des bâtiments.

bâtiments (figure 1). Ajoutons à cela les risques pour la santé publique, les contaminants pouvant s'infiltrer dans les conduites par les endroits où l'eau s'échappe, lorsque la pression baisse dans le réseau.

Les contraintes économiques, les questions de santé publique et le besoin d'économiser l'eau incitent les exploitants de réseaux à mettre sur pied des programmes de contrôle des fuites. Les programmes de contrôle systématique des fuites comportent deux grands volets : les bilans d'eau et la détection des fuites. Ces dernières années, on a fait des efforts importants pour mettre au point des méthodes visant à établir les bilans d'eau ou à détecter les fuites. Grâce

à ces efforts, les exploitants de réseaux disposent maintenant de plusieurs techniques bien établies² et d'appareils modernes qui les aident à limiter les pertes d'eau.

Bilans d'eau

Les bilans d'eau permettent de déterminer les quantités d'eau qui se perdent dans les réseaux de distribution. Ils peuvent être effectués sur l'ensemble du réseau ou par secteur. Sur l'ensemble du réseau, ils donnent une idée globale des pertes d'eau. Ils exigent une comptabilité détaillée des quantités d'eau entrant dans le réseau et en sortant, et ils sont généralement basés sur les relevés des compteurs et sur la vérification de leur précision. Par nature, ces bilans demandent des efforts importants, en particulier lorsqu'il s'agit de grands réseaux.

Dans le cas des bilans par secteur, le réseau de distribution est divisé en secteurs comportant environ 20 à 30 km de conduites. Chacun de ces secteurs est isolé par fermeture des vannes appropriées; seules ne sont pas fermées les vannes situées aux points de contrôle, où des débitmètres portables sont mis en place pour mesurer la quantité d'eau qui s'écoule sur une période de 24 heures. Pour savoir s'il y a des fuites importantes, on détermine le rapport du débit nocturne minimum au débit diurne moyen et on le compare aux ratios considérés comme normaux ou à des ratios établis précédemment pour le secteur donné. Les débits d'eau liés à des usages commerciaux ou industriels continus devraient être soustraits des débits mesurés. Si tous les raccordements aux abonnés sont équipés de compteurs, on peut obtenir des données plus précises concernant les fuites en relevant les quantités d'eau écoulées et consommées dans tel ou tel secteur, et ce sur une longue période.

Les zones où se produisent des fuites importantes peuvent être déterminées par la méthode du test par étapes. Celle-ci consiste à subdiviser le secteur, puis à mesurer les débits après avoir coupé successivement l'alimentation de chacun des sous-secteurs par fermeture des vannes correspondantes. Une diminution marquée du débit indique que des fuites importantes se produisent dans le sous-secteur dont l'alimentation vient d'être coupée.

Les bilans par secteur sont coûteux et exigent beaucoup de travail, car ils se font la nuit. Depuis quelques années, on a ten-

dance à installer de façon permanente des débitmètres raccordés au système SCADA par télémétrie. Les valeurs des débits ainsi transmises sont automatiquement analysées et permettent de déceler les augmentations inhabituelles de consommation d'eau. En connaissant le réseau, on peut savoir si une augmentation du débit est causée par de nouvelles fuites.

Les bilans par secteur et les tests par étapes permettent de déterminer les zones du réseau de distribution où il y a des fuites importantes, mais il reste ensuite aux équipes de réparation à repérer celles-ci.

Détection des fuites

Dans les zones où l'on sait que des fuites importantes se produisent, celles-ci sont généralement repérées au moyen d'appareils acoustiques. Ces derniers détectent les vibrations ou les bruits produits par l'eau qui s'échappe des canalisations sous pression. Ces bruits se propagent le long de la conduite sur de grandes distances (selon le type et la taille de la conduite) et dans le sol environnant.

Dans un premier temps, les équipes de détection des fuites déterminent grossièrement l'emplacement des fuites dans le réseau de distribution en auscultant tous les points accessibles du réseau (p. ex. les bouches d'incendie et les vannes). Elles repèrent ensuite plus précisément les zones suspectes en auscultant la surface du sol, directement au-dessus de la conduite et à intervalles rapprochés (environ 1 m). Une autre méthode de repérage exact et automatique des fuites consiste à utiliser des appareils modernes de corrélation des bruits de fuites. Ces appareils sont employés couramment depuis quelques années. Ils sont normalement plus précis que les appareils d'auscultation.

Les fuites peuvent également être détectées à l'aide de techniques non acoustiques (p. ex. gaz traceur, imagerie infrarouge et géoradar), mais celles-ci sont encore très peu utilisées et leur efficacité n'est pas aussi bien établie que celle des méthodes acoustiques.

Matériel et techniques de détection

Les appareils d'auscultation

Il s'agit des tiges d'écoute, des aquaphones et des géophones, ou microphones au sol (figure 2); ces appareils sont soit mécaniques, soit électroniques. Ils utilisent des méca-



Figure 2. Parmi les appareils d'auscultation typiques se trouvent les tiges d'écoute (gauche) et les microphones au sol (droite).
Photo : Palmer Environmental Ltd.

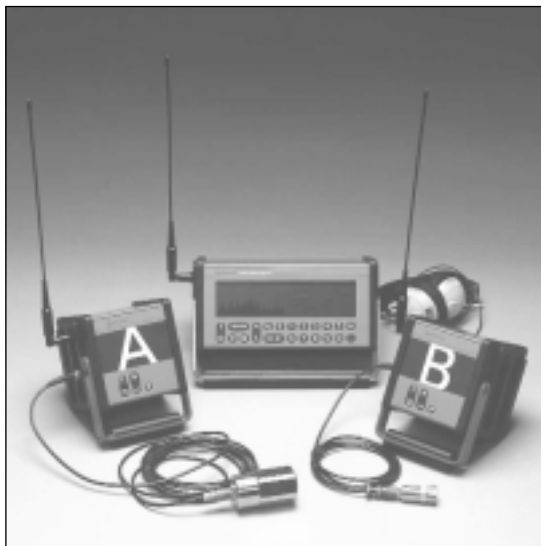
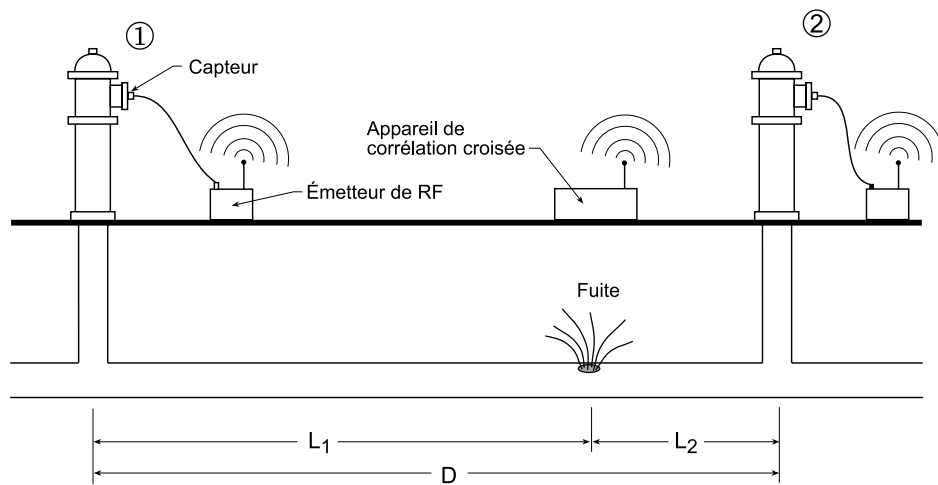


Figure 3. Un corrélateur de bruits de fuites est un appareil portable à microprocesseurs qui repère précisément et automatiquement les fuites.
Photo : Dantec Measurement Technology.

nismes ou des matériaux sensibles (comme les éléments piézoélectriques) pour capter les vibrations ou les bruits émis par les fuites. Les appareils électroniques modernes sont munis d'amplificateurs de signaux et de filtres antiparasites pour mettre en relief le signal produit par la fuite. Le mode d'emploi des appareils d'auscultation est généralement simple mais leur efficacité dépend de l'expérience de l'opérateur.

Les corrélateurs de bruits de fuites

Ce sont des appareils portatifs à microprocesseurs qui repèrent précisément et automatiquement les fuites par la méthode de la corrélation croisée (figure 3). On mesure dans ce cas le signal acoustique émis par une fuite au moyen de capteurs de vibrations ou d'hydrophones disposés sur deux points de contact avec la conduite (généralement des bouches d'incendie ou des vannes), ce qui permet de déterminer l'emplacement de la fuite présumée. Les signaux produits par les fuites sont transmis, sans fil, des capteurs au corrélateur. Dans la plupart des cas, la fuite ne se trouve pas à égale distance des points de mesure;



Temps mis par le signal ① pour arriver : $T_1 = L_1 / V$, où V représente la vitesse de propagation du son dans la conduite

Temps mis par le signal ② pour arriver : $T_2 = L_2 / V$

Décalage du signal ② par rapport au signal ① : $\Delta T = T_2 - T_1 = (L_2 - L_1) / V$

$L_2 = D - L_1 \Rightarrow \Delta T = (D - 2L_1) / V \Rightarrow L_1 = (D - V\Delta T) / 2$

Figure 4. Illustration schématique de la méthode de la corrélation croisée pour le repérage précis des fuites dans les conduites d'eau

il existe donc un décalage dans la réception des signaux. Ce décalage temporel est calculé au moyen de la fonction de corrélation croisée des signaux produits par la fuite. La fonction de corrélation croisée donne alors une crête qui coïncide avec le décalage entre les signaux. L'emplacement de la fuite est déterminé au moyen d'une formule algébrique dans laquelle interviennent le décalage, la distance entre les capteurs et la vitesse de propagation des ondes sonores dans la conduite (figure 4). La distance entre les capteurs est mesurée directement sur place ou relevée sur les cartes du réseau de distribution. La vitesse de propagation le long des conduites de différentes catégories et dimensions est généralement indiquée par la plupart des appareils vendus dans le commerce; elle peut aussi être calculée facilement sur place.

La technique du gaz traceur

Cette technique consiste à injecter dans une partie isolée d'une conduite un gaz non toxique, plus léger que l'air et insoluble dans l'eau (p. ex. l'hélium ou l'hydrogène). Le gaz s'échappe par l'ouverture de la fuite, puis atteint la surface en s'infiltrant à travers le sol et la chaussée. On repère la fuite en balayant la surface du sol située juste au-dessus de la conduite au moyen d'un détecteur de gaz très sensible.

La thermographie

Le principe d'utilisation de la thermographie pour la détection des fuites est le suivant : l'eau s'échappant d'une conduite souterraine modifie les caractéristiques thermiques du sol environnant (p. ex. elle crée une zone d'absorption thermique plus efficace que le sol sec environnant). Les anomalies thermiques produites au-dessus de la conduite sont décelées par des caméras infrarouges portatives ou embarquées dans un véhicule terrestre ou un avion.

Le géoradar

Les radars permettent de repérer de deux façons les fuites dans les conduites d'eau enfouies : ils détectent les vides créés dans le sol par l'eau qui fuit et circule autour de la conduite, ou bien les segments de canalisations qui semblent plus profonds qu'ils ne le sont en réalité à cause de l'augmentation de la valeur de la constante diélectrique du sol gorgé d'eau, aux alentours de la fuite. Les ondes du géoradar sont partiellement réfléchies vers la surface du sol lorsqu'elles rencontrent une anomalie dans les propriétés diélectriques (p. ex. un vide ou une conduite). En balayant la surface du sol, on obtient la taille et la forme de l'objet sur l'écran du radar. Le décalage entre le moment où l'onde est émise et le moment où elle est réfléchie détermine la profondeur de l'objet qui réfléchit l'onde.

Les facteurs qui influent sur l'efficacité des méthodes acoustiques

L'efficacité des méthodes acoustiques de détection des fuites dépend de plusieurs facteurs, dont la taille, le type et la profondeur de la conduite, le type de sol, le niveau de la nappe d'eau, le type et l'importance de la fuite, la pression dans le réseau, les interférences acoustiques, la sensibilité et la plage de fréquence des appareils.

Le matériau et le diamètre de la conduite jouent un rôle important dans l'atténuation des signaux émis par les fuites. Par exemple, ceux-ci sont moins atténués dans le cas des conduites en métal que dans celui des tubes en plastique. Plus le diamètre de la conduite est grand, plus l'atténuation est importante et plus il est difficile de détecter les fuites. Le diamètre et le matériau de la conduite influent sur les fréquences dominantes des signaux émis par les fuites – les fréquences dominantes sont d'autant plus basses que le diamètre de la conduite est grand ou que son matériau est peu rigide. À cause de ce phénomène, les signaux émis par les fuites peuvent être brouillés par des vibrations de basse fréquence (p. ex. celles produites par des pompes ou par la circulation routière).

Les signaux émis par les fuites ont, à la surface du sol, une intensité qui dépend beaucoup du type de sol et du niveau de la nappe d'eau. L'expérience montre que les bruits causés par les fuites sont plus audibles sur un terrain sablonneux que sur un sol argileux, et plus audibles sur une surface en asphalte ou en béton que sur le gazon. Si la conduite se trouve sous la surface de la nappe d'eau, ces bruits sont étouffés.

Les caractéristiques des bruits causés par les fuites varient en fonction du type et de l'importance de celles-ci. Les fissures et les piqûres de corrosion que comportent les parois des conduites produisent des signaux plus intenses et de fréquence plus élevée que s'il s'agit de fuites au niveau des raccords ou des vannes. De façon générale, le signal émis par une fuite est d'autant plus intense que celle-ci est importante, mais cela n'est pas forcément vrai dans le cas de fuites très sérieuses. Plus la pression est élevée dans la conduite, plus les signaux émis par les fuites sont intenses. Il est difficile de détecter les fuites dans des conduites où la pression est inférieure à 1,05 kgf/cm².

Les différents appareils de détection acoustique des fuites présentent de grandes variations aux points de vue sensibilité, plage de fréquence, conditionnement et traitement du signal. Plus les capteurs de fuites sont sensibles, plus le rapport signal-bruit des appareils est élevé et plus les fuites détectables sont petites. Les appareils acoustiques modernes sont équipés de dispositifs de traitement des signaux (p. ex. filtres et amplificateurs) qui rendent ceux-ci distincts. Les filtres éliminent les bruits dont la fréquence se situe hors de la plage de fréquences dominantes des signaux produits par les fuites. Les amplificateurs augmentent le rapport signal-bruit et rendent audibles les signaux faibles.

Difficultés dans le cas des tubes en plastique

La plupart des utilisateurs professionnels estiment que les méthodes acoustiques permettent de bien détecter les fuites dans les conduites en métal mais qu'elles sont problématiques dans le cas des tubes en plastique. Le matériel de détection acoustique des fuites a été conçu principalement pour les conduites métalliques. Or les signaux émis par les fuites dans les tubes en plastique ont des caractéristiques acoustiques sensiblement différentes de ceux qui sont produits par des fuites dans des conduites métalliques. Les tubes en plastique sont plus silencieux et ne transmettent pas les bruits autant que les conduites métalliques. De plus, les bruits produits par les fuites dans les tubes en plastique sont constitués principalement de signaux de basse fréquence, contrairement à ceux émis par les fuites dans les conduites métalliques.

Une étude récente³ menée par l'IRC et financée par l'American Water Works Association Research Foundation a montré que les fuites dans les tubes en plastique peuvent être repérées au moyen des techniques acoustiques, mais que celles-ci présentent plusieurs difficultés. En mode de fonctionnement automatique, les corrélateurs de bruits de fuites ont rarement permis de repérer celles-ci, car la plage de fréquence choisie par les appareils était généralement trop élevée. Les opérateurs utilisant de tels appareils en mode manuel avaient aussi tendance à choisir une plage de fréquence trop élevée; c'est pourquoi ils n'ont pas détecté certaines fuites. Il a été aussi démontré que l'accéléromètre (type de capteur de

vibrations) n'était efficace que dans le cas des fuites sérieuses. Pour les fuites moins importantes, il faut utiliser des hydrophones.

Par ailleurs, on s'est rendu compte que les spécialistes ne pouvaient pas entendre les bruits émis par les fuites dans les tubes en plastique à l'aide d'écouteurs reliés aux corrélateurs de bruits de fuites. Selon la sagesse populaire, s'il n'y a pas de bruit, il n'y a pas de fuite. Les spécialistes ont donc été surpris de constater que les corrélateurs repéraient des fuites qu'eux ne pouvaient entendre. Il a été montré que les signaux produits par les fuites dans les tubes en plastique sont constitués principalement de sons de fréquence inférieure à 50 Hz. Or l'oreille humaine ne peut entendre ces bruits. Pour la même raison, les tiges d'auscultation et les aquaphones n'étaient efficaces que s'ils étaient raccordés à des points d'accès très proches (environ 5 m) des fuites. En pratique, ces résultats indiquent que pour détecter les fuites dans les tubes en plastique, il est possible qu'il faille ne compter que sur les corrélateurs. On peut ausculter le sol à intervalles de, disons, 1 m ou moins à l'aide de microphones au sol, mais cette opération demande beaucoup de temps et est donc peu pratique.

L'étude de l'IRC a montré que certaines modifications pouvaient permettre aux corrélateurs de bruits de fuites de mieux repérer celles qui se produisent dans les tubes en plastique: révision des algorithmes en mode automatique, capteur à sensibilité plus élevée (en particulier accéléromètre), capacité de percevoir les basses fréquences, réglage fin des filtres passe-haut et passe-bas. Plusieurs modifications apportées aux techniques mises en oeuvre peuvent aussi améliorer l'efficacité du matériel: utilisation des composantes basse fréquence des signaux produits par les fuites, mesure de la vitesse de propagation du son dans les tubes, vérification du bon fonctionnement des capteurs de fuite (particulièrement les hydrophones), et installation d'hydrophones ou d'accéléromètres sensibles à la vibration sur les bouches d'incendie sous pression.

Résumé

Les fuites sont habituellement la cause principale des pertes qui se produisent dans les réseaux de distribution d'eau. Pour réduire les pertes économiques et les risques pour

la santé publique ainsi que pour économiser l'eau, les exploitants de réseaux de distribution d'eau vérifient régulièrement ceux-ci et procèdent à la détection des fuites. Les bilans d'eau donnent une idée globale des quantités perdues et permettent de cerner les zones du réseau où se produisent des fuites importantes. On détermine l'emplacement exact des fuites au moyen de matériel d'auscultation et d'appareils modernes de corrélation des bruits de fuites. Le matériel acoustique est efficace dans le cas des conduites métalliques, mais il peut être problématique dans le cas des tubes en plastique. Dans l'étude de l'IRC sur la détection des fuites, on a recommandé d'apporter des modifications en vue d'accroître l'efficacité des corrélateurs de bruits de fuites ainsi que d'améliorer le mode opératoire *in situ*, lorsqu'il s'agit de tubes en plastique. Les fuites dans les conduites en métal et dans les tubes en plastique peuvent aussi être repérées à l'aide de techniques non acoustiques comme celles du gaz traceur, de l'imagerie infrarouge et du géoradar. Cependant, l'utilisation de ces techniques est encore très limitée et leur efficacité n'est pas aussi bien établie que dans le cas des méthodes acoustiques.

Références

1. Cheong, L.C. Unaccounted for water and the economics of leak detection. Proceedings of the 18th International Water Supply Congress and Exhibition, 15-31 mai 1991, Copenhague, publié dans *Water Supply*, 9, 3&4, IR1.1, 1991.
2. AWWA. *Water audits and leak detection*. Manual of Water Supply Practices No. M36, American Water Works Association, 1990.
3. Hunaidi, O., Chu, W., Wang, A., et Guan, W. Detecting leaks in plastic pipes. *Journal AWWA*, 92, 2, 82-94, American Water Works Association, 2000.

Osama Hunaidi, Ph.D., est agent de recherche supérieur au sein du programme Réhabilitation des infrastructures urbaines, à l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches du Canada.

© 2000
Conseil national de recherches du Canada
Octobre 2000
ISSN 1206-1239