

## NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

### Stratégies de détection acoustique des fuites sur les conduites de distribution d'eau

Hunaidi, O

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/10.4224/40002870>

*Solution constructive; no. 79, 2012-05-01*

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

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=f2b38970-1acb-406d-95fd-818cd0a5eb44>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=f2b38970-1acb-406d-95fd-818cd0a5eb44>

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.

## Stratégies de détection acoustique des fuites sur les conduites de distribution d'eau

Par Osama Hunaidi

*La détection des fuites sur les conduites municipales de distribution d'eau est l'un des aspects essentiels des programmes de gestion des fuites. Dans ce numéro sont présentées les différentes stratégies de détection acoustique existantes et la performance qu'elles ont démontrée dans leurs récentes applications.*

Pour les municipalités, la gestion des fuites sur les conduites de distribution d'eau est une nécessité. Une nécessité rendue encore plus urgente par les pénuries d'eau causées par les récentes sécheresses, l'augmentation de la demande, les pressions environnementales, sociales et politiques, l'escalade des coûts de l'énergie et des exigences réglementaires de plus en plus rigoureuses.

La gestion des fuites d'eau comprend généralement quatre éléments majeurs : les vérifications de consommation d'eau, la détection ou la surveillance des fuites, le contrôle de la pression et la localisation et la réparation des fuites. Ce numéro, qui complète une précédente publication sur les différents appareils de détection commercialisés, présente les différentes stratégies de détection acoustique existantes.

Les fuites d'eau imperceptibles ou non signalées des réseaux de distribution peuvent être repérées par la détection des bruits qu'elles propagent dans les conduites sous pression. La détection des bruits de fuites s'effectue généralement sur toute la longueur des conduites, qu'elles fuient ou non. Les stratégies de détection des bruits de fuites comprennent des méthodes manuelles, qui utilisent des appareils d'écoute ou des corrélateurs de bruits, et des méthodes automatiques, qui utilisent des enregistreurs de bruits de fuites. Le recours à l'une ou l'autre de ces stratégies de détection acoustique est fonction des ressources disponibles, tant humaines que financières, des caractéristiques du réseau de conduites et des conditions de fonctionnement.

Ce numéro passe en revue ces différentes stratégies, leurs avantages et inconvénients, et analyse la performance qu'elles ont démontrée dans leurs récentes applications.



Figure 1. Personne effectuant une détection par écoute

### Détection par écoute

Dans le cadre d'une détection par écoute, des inspecteurs expérimentés et équipés d'appareils acoustiques parcourent le réseau de conduites, au niveau des raccords. La détection par écoute peut être générale ou détaillée. Dans une détection générale, les inspecteurs effectuent une écoute uniquement sur les points accessibles des conduites (bornes-fontaines, par exemple), alors que la détection détaillée concerne tous les raccords des conduites, y compris les vannes d'arrêt de distribution. Dans les zones où le bruit ambiant causé par une circulation routière intense ou une forte demande en eau peut nuire à ses résultats, la détection par écoute est généralement pratiquée la nuit.

La détection par écoute s'effectue à l'aide d'appareils manuels simples, comme l'aquaphone ou le géophone. Malgré leur simplicité, ces appareils sont plus efficaces dans les mains d'inspecteurs expérimentés. La détection par écoute peut également s'effectuer à l'aide de dispositifs électroniques modernes souvent équipés d'amplificateurs de signaux et de filtres de bruits qui permettent aux bruits de fuites de se démarquer dans des environnements bruyants.

L'intensité des bruits de fuites et la distance qu'ils parcourent dépendent en grande partie du matériau et du diamètre de la conduite. Les bruits de fuites voyagent mieux dans les conduites métalliques de petit diamètre ( $\leq 300$  mm) et sont sensiblement atténués (amortis) dans les conduites en plastique, les conduites non métalliques autres que plastiques et les conduites de grand diamètre. Comme l'effet d'atténuation augmente avec la fréquence, les bruits de fuites dans les conduites non métalliques et les conduites de grand diamètre sont dominés par des ondes à basse fréquence que les humains ont du mal à percevoir, comme le montre la courbe isosonique de l'oreille humaine.

Plus la fréquence d'un son est basse (descend sous 500 Hz), plus la sensibilité de l'oreille humaine diminue. Plus le niveau sonore est faible, plus cet effet est prononcé. En d'autres termes, la sensibilité à un son diminue plus nettement lorsque sa fréquence descend au niveau du seuil d'audition. Ainsi, la sensibilité de l'oreille humaine à 500 Hz est environ 10 et 100 fois supérieure qu'à 100 Hz et 50 Hz.

Par conséquent, les bruits de fuites dominés par les basses fréquences ( $\leq 50$  Hz) dans les conduites en plastique, les conduites en béton, les conduites en amiante-ciment (AC) et les conduites de grand diamètre, sont difficiles à détecter par écoute, à moins que les points d'écoute ne soient très proches des points de fuite. Une étude menée par le portefeuille de construction du CNRC montre l'incapacité des dispositifs d'écoute à détecter une fuite simulée dans une conduite en PVC de 152 mm de diamètre, à moins d'être fixés à des points d'accès situés tout au plus à 5 mètres de la fuite (Hunaidi et al. 2000). L'inefficacité relative de la détection par écoute s'étend également aux fuites importantes. Une telle incapacité peut sembler contre-intuitive, pour qui pourrait penser que les fuites sont d'autant plus bruyantes qu'elles sont importantes. Cette assertion est vraie, mais jusqu'au point au-delà duquel l'écoulement de la fuite devient moins turbulent et au-delà duquel le bruit de la fuite s'estompe et devient de plus en plus difficile à entendre.

Les difficultés de la détection par écoute des fuites sur les conduites non métalliques et des fuites importantes ont été confirmées par les récents travaux de Construction CNRC et des équipes de détection par écoute des services d'eau de deux villes canadiennes (Hunaidi, 2010). Pour exemple, la détection par écoute générale effectuée sur un tronçon de conduite en AC à l'aide d'un appareil d'écoute électronique placé sur les bornes-fontaines n'a permis de détecter que les fuites aux bornes-fontaines, occultant les nombreuses autres fissures responsables d'une importante fuite de 393 l/mn, dont une perte d'eau de 190 l/mn causée par une fissure circonférentielle d'une conduite AC de 152 mm de diamètre, située à environ 95 mètres de la borne-fontaine la plus proche. Qui plus est, cette importante fuite n'a même pas pu être détectée sur les robinets d'arrêt de branchement public situés à quelques mètres de la borne-fontaine.

Dans une autre détection par écoute générale, les inspecteurs ont été incapables de détecter une importante fuite de 600 l/mn causée par une fissure circonférentielle d'une conduite en fonte de 254 mm de diamètre situé à seulement 70 mètres de la borne-fontaine la plus proche, une distance relativement proche pour des conduites métalliques.

*Plus la fréquence d'un son est basse (descend sous 500 Hz), plus la sensibilité de l'oreille humaine diminue. Plus le niveau sonore est faible, plus cet effet est prononcé.*

## Détection par cartographie

La cartographie des bruits de fuites, forme améliorée de la détection par écoute générale, a été développée par la Halifax Regional Water Commission (Brothers, 2001). Cette stratégie s'inspire de la pratique habituelle de l'écoute des bruits de fuites aux points de contact accessibles des conduites d'eau. Au Canada, les bornes-fontaines sont généralement espacées de 150 mètres et fournissent par conséquent des points de contact pratiques. L'écoute s'effectue à l'aide d'appareils d'écoute électroniques équipés d'un afficheur de niveau sonore analogique ou numérique.

Pour minimiser les interférences provenant d'autres sources de bruit, surtout dans les zones à forte circulation routière et/ou à forte demande en eau pendant la journée, la détection des bruits de fuites s'effectue généralement la nuit. Pour s'assurer de la cohérence des différents niveaux sonores mesurés, les dispositifs d'écoute doivent être correctement calibrés et les inspecteurs doivent veiller au strict respect des procédures de fixation des capteurs acoustiques.

Les inspecteurs écoutent les bruits de fuites et consignent les niveaux sonores avec d'autres descripteurs standards, comme les bruits des pompes et autres bruits mécaniques ou les bruits aigus (qui correspondent normalement aux fuites des bornes-fontaines). Les niveaux sonores des réseaux de conduites sont ensuite intégrés à un système d'information géographique (SIG) pour produire des cartes de courbes de niveau colorées des bruits de fuites. Avec ces cartes, les gestionnaires des fuites pourront facilement comparer les anciens et les nouveaux niveaux sonores et ainsi identifier les zones qui nécessiteront des mesures plus détaillées. Les cartes de courbes de niveau donnent également une représentation visuelle des modèles de bruits de fuites, ce qui peut aider à l'identification des fuites multiples dans une zone particulière. Avec ces cartes, les gestionnaires pourront également efficacement planifier le travail de localisation et de validation des fuites suspectées par les inspecteurs. Les tronçons dont les fuites ont été validées ou confirmées sont réinspectés après réparation et les bruits de fuites sont cartographiés de nouveau pour détecter les fuites restantes. Le processus est répété jusqu'à ce qu'il ne reste plus aucune fuite détectable dans le réseau de distribution d'eau.

La technique de cartographie des bruits de fuites peut s'appliquer à des conduites métalliques, mais comme les autres techniques d'écoute, elle est relativement inefficace pour les conduites en plastique, les conduites non métalliques autres que plastiques et les conduites de grand diamètre, en raison même de leur importante atténuation des bruits. La technique de cartographie des bruits est également inefficace lorsqu'elle est appliquée à des tronçons de conduites métalliques ayant subi de multiples réparations à l'aide de raccords en plastique et/ou l'installation de borne-fontaine ayant des raccords de plastique.

Pour comparaison, la détection par écoute générale et la cartographie des bruits de fuites effectuées en séquence sur le réseau de distribution d'eau de 1 100 km de Halifax, entre avril et juin 2000, ont respectivement révélé 32 et 216 fuites, (Brothers, 2001).

## Détection par immersion

Pour les conduites de grand diamètre, les problèmes posés par la détection par écoute peuvent être résolus par l'immersion d'hydrophones dans les conduites (Pure, 2010). Dans une application de ce type, des inspecteurs ont immergé un hydrophone captif dans une conduite de grand diamètre, au niveau d'un robinet spécial, pour l'y tracter ensuite à l'aide d'un appareil en forme de parachute, afin de se rapprocher le plus possible des fuites. L'hydrophone mesure les niveaux sonores des fuites tout au long de son parcours, tandis que les inspecteurs suivent sa position à la surface. Les points de fuite potentiels correspondent alors aux pics sonores enregistrés.

Dans une autre application de détection par immersion, les inspecteurs ont immergé une sphère en aluminium enveloppée de mousse flottante contenant un hydrophone et ses accessoires électroniques, dans une conduite de grand diamètre, au niveau d'un robinet spécial. La sphère non captive est ensuite poussée dans la conduite par l'écoulement de l'eau puis repêchée à une vanne en aval.

Les systèmes de détection par immersion sont très spécialisés et très sophistiqués et conviennent plus particulièrement aux conduites de grand diamètre.

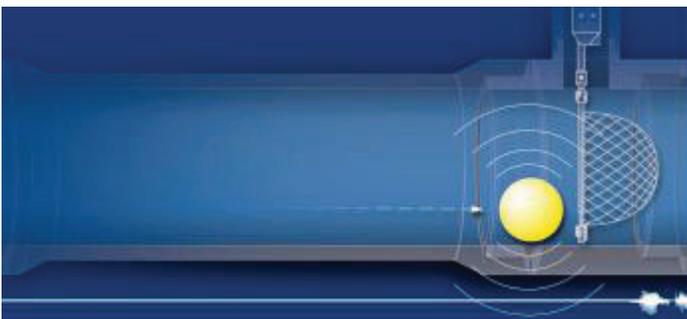


Figure 2. Schéma de la détection par immersion  
(Utilisé avec leur permission, Pure Technologies Ltd.)

## Détection par corrélation

La détection par corrélation acoustique peut favorablement remplacer la détection par écoute sur les conduites non métalliques et les conduites de grand diamètre, car les corrélateurs de bruits de fuites sont moins sensibles aux bruits parasites et à la capacité d'écoute des inspecteurs.

La détection par corrélation acoustique consiste à mesurer les bruits émis par une conduite aux deux points qui délimitent l'emplacement d'une fuite suspectée. Le point de fuite est calculé par une relation mathématique simple et facile à calculer qui comprend le décalage temporel entre les signaux mesurés, la distance entre les points de mesure et la vitesse de propagation du son dans la conduite.

La détection par corrélation acoustique exige la présence de deux inspecteurs et une planification soignée du tronçon à inspecter. Les points de contact choisis, généralement des bornes-fontaines, sont marqués et numérotés dans l'ordre sur deux cartes de réseaux de conduites (une carte de réseau par inspecteur), avec la distance approximative qui sépare les bornes-fontaines et le type et la taille des conduites d'eau. Un inspecteur fixe un premier capteur et l'autre fixe le second capteur et met en marche le corrélateur. Lorsqu'ils détectent une fuite, les inspecteurs marquent son emplacement approximatif sur leur carte de réseau pour la localiser plus tard. Les inspecteurs communiquent entre eux par radio pour déplacer alternativement ou simultanément leurs capteurs entre les bornes-fontaines, selon une progression à saute-mouton.

Deux inspecteurs expérimentés dans l'utilisation de corrélateurs acoustiques peuvent inspecter jusqu'à 3 km/jour (environ 15 minutes par corrélation), s'ils utilisent des hydrophones (cas des conduites en PVC, par exemple), et jusqu'à 9 km/jour (5 minutes par corrélation), s'ils s'aident d'accéléromètres (cas des conduites en fonte). Ces distances journalières supposent un espacement moyen de 150 mètres entre les bornes-fontaines et une journée de travail de 8 heures, dont 5 auront été consacrées à des corrélations réelles, 2 à la planification et 1 aux déplacements pour se rendre sur les sites d'inspection ou pour en revenir.

La durée des corrélations de 5 et 15 minutes mentionnée plus haut et réalisée par le personnel de Construction CNRC se rapporte à des corrélations effectuées dans de petites zones résidentielles sur toutes les bornes-fontaines. Ces chiffres doivent être doublés si la corrélation ne concerne qu'une seule paire alternée de borne-fontaine (une borne-fontaine sur deux). En revanche, la corrélation des paires alternées de bornes-fontaines peut occulter les fuites



Figure 3. Capteurs pour détection par corrélation



Figure 4. Hydrophone connecté à une borne-fontaine

mineures, car l'atténuation du signal augmente avec la distance entre le capteur et la source de bruit. Plus la distance entre les bornes fontaines contrôlées est grande, plus il y a de chances d'occulter des fuites mineures.

Comme le montre une récente expérience de Construction CNRC, la détection des fuites d'eau par corrélation acoustique n'est pas infaillible (Hunaidi, 2010). C'est ainsi que des inspecteurs expérimentés ont été incapables de détecter une importante fuite de ~ 600 l/mn sur une conduite en fonte, fuite qui avait également échappé à une détection par écoute générale. Cette défaillance, pour le moins inhabituelle, pourrait s'expliquer pas des problèmes d'équipement (des capteurs endommagés, par exemple), car les employés de Construction CNRC et des services d'eau concernés ont réussi à corréliser plus tard la fuite oubliée avec le corrélateur de Construction CNRC et la pose d'accéléromètres sur les bornes-fontaines distantes de 193 mètres. La détection des fuites par corrélation (même à l'aide d'hydrophones) peut également occulter des fuites dans les zones résidentielles où plusieurs maisons sont équipées d'adoucisseurs d'eau. Les adoucisseurs d'eau créent notamment des interférences sonores pendant leur cycle de régénération et de nettoyage qui est généralement programmé entre minuit et 4 heures. Par exemple, une corrélation par hydrophones effectuée de nuit par le personnel du portefeuille de construction du CNRC, à partir de bornes-fontaines espacées de 216 m, a occulté une importante fuite d'eau de ~ 190 l/mn sur une conduite AC de 152 mm de diamètre. Cette fuite qui avait également échappé à une détection par écoute générale effectuée plus tôt par les employés municipaux, a finalement été corrélée à une date ultérieure. L'enquête de l'IRC-CNRC a démontré par la suite que la fuite d'eau avait été masquée, lors de la première corrélation, par un bruit de forte amplitude à basse fréquence en dehors de la section à inspecter, un bruit probablement causé par la demande d'eau des adoucisseurs, dont l'utilisation était très répandue dans la région.

## Détection par enregistrement

La détection acoustique manuelle à l'aide d'appareils d'écoute ou de corrélateurs de bruits de fuites souffre de plusieurs autres inconvénients. Ce type de détection demande beaucoup de main-d'œuvre et, par tant, peut devenir inefficace dans la détection de routine, notamment sur les grands réseaux de distribution. La détection acoustique manuelle demande par ailleurs une formation approfondie et des compétences particulières. Périodique, la détection acoustique manuelle, peut surtout occulter des fuites et des pertes d'eau importantes, vu l'importance du temps qui peut séparer l'occurrence d'une fuite et sa détection. Pour pallier les limites de la détection acoustique manuelle, les gestionnaires des fuites peuvent aujourd'hui recourir à la détection acoustique automatique, et plus particulièrement aux enregistreurs acoustiques.

Les enregistreurs acoustiques sont des appareils compacts composés d'un capteur de vibrations (ou hydrophone), d'un module d'enregistrement de données programmable et d'un module de communication. Déployés en grand nombre, temporairement ou en permanence, sur les vannes souterraines, à une distance qui varie entre 200 et 500 mètres, ces enregistreurs sont programmés



Figure 5. Enregistreurs acoustiques

pour écouter les bruits des conduites pendant les périodes les plus calmes de la nuit, normalement entre 2 heures et 4 heures. Ils fonctionnent toutes les nuits et transmettent, sans fil, une alerte à un récepteur, mobile ou fixe, dès qu'ils suspectent une fuite.

Sur les réseaux d'eau équipés de lecture automatique des compteurs (LAC), il est possible aujourd'hui de fixer les enregistreurs de bruits sur la conduite de branchement du compteur d'eau des particuliers et de profiter de l'infrastructure de communication sans fil de la LAC pour transmettre les alertes de fuite. De même, la « corrélation des enregistreurs de bruits » permet désormais d'enregistrer un court échantillon du bruit produit par une fuite, de le stocker et de le télécharger sur un ordinateur, via un récepteur fixe ou mobile, où il est corrélé au bruit pour localiser la fuite suspectée.

Les adeptes des enregistreurs acoustiques allèguent souvent leur supériorité en termes de performance et de rendement sur les méthodes de détection acoustique traditionnelles. Or, les essais in situ documentés par trois agences de distribution d'eau (respectivement aux Etats-Unis, au Royaume-Uni et au Canada) sont loin de conforter leurs allégations. Bien au contraire, ces agences font état de nombreux problèmes, au nombre desquels les fausses alertes

et les fuites d'eau non décelées s'ajoutent aux défaillances des équipements (Fanner et al, 2007; NMEFC, 2007; Van der Klej-jand Stephenson, 2002). Les essais en question portaient sur une comparaison directe des enregistreurs acoustiques et des appareils de détection par écoute.

La détection acoustique automatique à l'aide d'enregistreurs rapprochés reste néanmoins une alternative intéressante, pratique et efficace à la détection acoustique manuelle dans les centres villes et autres lieux très fréquentés et fortement pollués par les bruits parasites diurnes.

## Résumé

Le choix d'une stratégie de détection acoustique des fuites d'eau dépend des ressources disponibles, des caractéristiques du réseau de conduites et des conditions de fonctionnement.

Les méthodes de détection par écoute, y compris la cartographie des bruits de fuites, conviennent surtout aux conduites de distribution métalliques de petit diamètre. Ces méthodes sont généralement inefficaces dans la détection des fuites sur les conduites non métalliques et les conduites de grand diamètre. Elles sont également inefficaces dans la détection de fuites importantes sur tous les autres types de conduite, métalliques ou autres. Les lacunes de la détection par écoute peuvent être comblées en utilisant des appareils immergés dans les réseaux de conduites et propulsés par l'écoulement de l'eau. Très spécialisés et très sophistiqués, ces appareils s'appliquent surtout aux conduites de grand diamètre.

La détection par corrélation est efficace sur les conduites non métalliques et les conduites de grand diamètre, mais elle ne permet pas de détecter les fuites causées par les défaillances des équipements. Sur les réseaux incluant de nombreuses résidences équipées d'adoucisseurs d'eau, la détection par corrélation peut occulter des fuites importantes, à cause des interférences sonores créées par ces mêmes adoucisseurs.

Par son caractère périodique, la détection acoustique manuelle à l'aide d'appareils d'écoute ou de corrélateurs de bruits peut devenir inefficace, notamment sur les grands réseaux de distribution. Ce type de détection, qui demande également une formation approfondie et des compétences particulières, peut être favorablement remplacé par la détection par enregistrement.

## Références

1. Hunaidi, O., La détection des fuites dans les conduites de distribution d'eau, Solution constructive n° 40, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches Canada, 2000, 6 p.
2. Hunaidi, O., Chu, W., Wang, A., and Guan, W. Detecting Leaks in Plastic Water Distribution Pipes, Journal AWWA, Vol. 92, No. 2, pp. 82-94, 2000.  
<http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?action=shwart&index=an&req=5754976&lang=fr>
3. Hunaidi, O., Leakage Management for Water Distribution Infrastructure: Results of DMA Experiments in Regina/SK and Ottawa/ON, Client Reports No. B5131.2 & 3, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches Canada, Ottawa, 2010.
4. Brothers, K., Using the IWA Performance Indicators and Noise Mapping for NRW Reductions in Halifax, Nova Scotia, Canada. Proc. Water Loss Specialist Conference, International Water Association, Brno, Czech Republic, pp. 227-233, 16-18 May 2001.
5. Pure Technologies Ltd., Sahara and SmartBall Leak Detection and Condition Assessment Systems, Calgary.  
[www.puretechnologiesltd.com](http://www.puretechnologiesltd.com) (Cité en décembre 2010)
6. Fanner, P., Sturm, R., Thornton, J., Liemberger, R., Davis, S. and Hoogerwerf, T., Leakage Management Technologies, Report 91180, American Water Works Association Research Foundation, Denver, Colorado, 2007.
7. New Mexico Environmental Finance Center, Analysis of Fluid Conservation Systems Leak Detection Technology, Phases I/II/III Reports, for Albuquerque Bernalillo County Water Authority. <http://nmefc.nmt.edu/LeakDetection.php>
8. Van der Kleij, F.C., and Stephenson, M.J., Acoustic Logging – The Bristol Water Experience, Proc. IWA Specialised Conference: Leakage Management – A Practical Approach, International Water Association, Lemesos, Cyprus, November 20-22, 2002.

**Osama Hunaidi, Ph.D.**, est agent de recherche senior au sein du portefeuille de construction du Conseil national de recherches du Canada.

**Solutions constructives : une collection d'articles techniques renfermant de l'information pratique issue de récents travaux de recherche en construction.** Pour obtenir de plus amples renseignements, communiquer avec Construction CNRC,

Ottawa K1A 0R6. T: 613-993-2607 F: 613-952-7673 [www.cnrc-nrc.gc.ca/sc](http://www.cnrc-nrc.gc.ca/sc)

© 2012 Conseil national de recherches du Canada, mai 2012, ISSN 1206-1239