

Ce document est l'original provenant du Ceriu et n'a pas été modifié

RÉSEAUX D'ÉGOUTS

PATHOLOGIES, DIAGNOSTICS ET INTERVENTIONS

FÉVRIER 2012



*Affaires municipales,
Régions et Occupation
du territoire*

Québec 

Recherche et rédaction :
Benoit Grondin, ing.
Marie-Élaine Desbiens, ing.

Révision linguistique :
Sonia Pitre

© Gouvernement du Québec,
Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, 2012

ISBN 978-2-550-64156-8 (pdf)

Dépôt légal – 2012
Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Tous droits réservés. La reproduction de ce document par quelque procédé que ce soit et sa traduction, même partielles, sont interdites sans l'autorisation des Publications du Québec.

La réalisation du présent document a été rendue possible grâce à la contribution financière du gouvernement du Québec par l'entremise du Programme d'infrastructures Québec-Municipalités (PIQM).

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le personnel du ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT) qui a contribué à la validation et à l'achèvement du présent ouvrage.

TABLES DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 OBJECTIFS DU DOCUMENT	3
2 DÉFICIENCES ET DÉGRADATION DES CONDUITES D'ÉGOUT	5
2.1 Problématique fonctionnelle	6
2.1.1 Capacité insuffisante	6
2.1.2 Infiltration/exfiltration	8
2.1.3 Obstructions	12
2.1.4 Racines	13
2.1.5 Bas-fonds	15
2.2 Problématique structurale	16
2.2.1 Fissures/fractures	18
2.2.1.1 Fissures/fractures circulaires	19
2.2.1.2 Fissures/fractures longitudinales	20
2.2.1.3 Fissures/fractures multiples	23
2.2.2 Bris	24
2.2.3 Trous	25
2.2.4 Déformations	25
2.2.5 Déviations en raison des joints décalés/ouverts/en angle	27
2.2.6 Défauts de surface	28
2.2.7 Perte de support latéral / affaissement de radier (bas-fond) / briques manquantes (conduites en brique uniquement)	29
2.2.7.1 PERTE DE SUPPORT LATÉRAL	29
2.2.7.2 AFFAISSEMENT DU RADIER	31
2.2.7.3 CHUTE DE BRIQUES À LA COURONNE	32
2.2.8 Raccordements défectueux (tout type de conduites)	33
3 FACTEURS INFLUENÇANT LE TAUX DE DÉGRADATION DE L'ÉTAT DES CONDUITES.....	35
3.1 Activités humaines en surface ou sur des infrastructures à proximité	35
3.2 Changement d'affectation du sol.....	35
3.3 Nature des effluents.....	36
3.4 Types de sol	37
3.4.1 Sols non cohésifs (silt, sable et gravier)	37
3.4.2 Sols cohésifs (argiles)	38
3.5 Importance du défaut	39
3.5.1 Défauts sévères	39
3.5.2 Défauts mineurs	39
3.6 Surcharge hydraulique	40

3.7	Formation des vides	41
4	DIAGNOSTICS	43
4.1	Outils et techniques d'auscultation	44
4.1.1	Méthodes géophysiques	45
4.1.2	Méthodes géométriques	47
4.1.3	Méthodes mécaniques	49
4.1.4	Méthodes visuelles	53
5	FAMILLES D'INTERVENTION SELON LE CYCLE DE VIE	63
5.1	Entretien mineur	64
5.1.1	Nettoyage hydraulique	64
5.1.2	Nettoyage mécanique	65
5.1.3	Vérification de la déformation	66
5.1.4	Inspection télévisée	66
5.2	Entretien majeur	67
5.2.1	Colmatage par injection	67
5.2.2	Alésage des obstructions	67
5.2.3	Réparation des joints en brique	68
5.3	Réhabilitation structurale	69
5.3.1	Chemisage	70
5.3.2	Tubage	71
5.3.3	Interventions ponctuelles	75
5.4	Reconstruction sans tranchée	76
5.4.1	Éclatement de conduite	76
5.4.2	Microtunnelier	77
5.4.3	Forage dirigé	78
6	ÉVALUATION DE L'ÉTAT DES CONDUITES	81
6.1	La cote maximale	81
6.2	Le pointage rapide	82
7	DÉTERMINATION DES INTERVENTIONS	85
7.1	Première étape : Valider le rapport de l'inspection télévisée et identifier les défauts...	85
7.2	Deuxième étape : Définir les interventions requises pour corriger chacun des défauts observés	85
7.2.1	Défauts structuraux	86
7.2.2	Défauts fonctionnels	86
7.3	Troisième étape : Définir la solution d'intervention pour corriger l'ensemble des déficiences rencontrées	87

7.4	Quatrième étape : Déterminer la solution la plus économique en considérant les autres infrastructures présentes.....	87
8	CAS PRATIQUES.....	89
8.1	Exercice n°1.....	90
8.1.1	Intervention pour corriger chaque défaut (étape 2)	91
8.1.2	Identification de la solution la plus économique (étape 3)	96
8.2	Exercice n° 2.....	97
8.2.1	Interventions pour corriger chaque défaut (étape 2)	98
8.2.2	Identification de la solution la plus économique (étape 3)	100
9	CONCLUSION.....	101
10	BIBLIOGRAPHIE.....	103

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Exemple d’une conduite montrant des signes de mise en charge	6
Figure 2 – Inondation d’une autoroute en raison d’un manque de capacité de l’égout	7
Figure 3 – Exemple d’une infiltration à travers un joint non étanche.....	8
Figure 4 – Possibilités d’exfiltration et d’infiltration dans les réseaux d’égouts.....	10
Figure 5 – Mécanisme d’érosion du sol non cohésif lors de l’infiltration/exfiltration	11
Figure 6 – Mécanisme d’érosion du sol cohésif lors de l’infiltration/exfiltration.....	11
Figure 7 – Exemple d’obstruction	12
Figure 8 – Exemple de blocage provoqué par la présence de racines	13
Figure 9 – Exemple d’un bas-fond	15
Figure 10 – Illustration du déplacement d’une caméra de télévision dans un bas-fond	15
Figure 11 – Illustration du mécanisme de création d’un bas-fond.....	15
Figure 12 – Modèle théorique de la dégradation d’une conduite	18
Figure 13 – Exemple d’une fissure circulaire	19
Figure 14 – Fissures longitudinales à 12 h, 3 h et 9 h	20
Figure 15 – Schéma d’une fissure longitudinale.....	21
Figure 16 – Fissure longitudinale dans la région du joint de la conduite résultant d’une force radiale trop forte.....	21
Figure 17 – Fissure longitudinale dans la région du joint de la conduite résultant d’une déviation positionnelle.....	21
Figure 18 – Exemple de fissures multiples de 3 h à 5 h.....	23
Figure 19 – Fissures multiples tirant leur origine d’un point.....	23
Figure 20 – Exemple de trou dans la conduite avec sol visible	25
Figure 21 – Exemple d’une conduite déformée	25
Figure 22 – Schéma des différents types de déformation d’une conduite circulaire	26
Figure 23 – Illustration des trois étapes de la perte de support latéral pour une conduite en brique	30
Figure 24 – Chute du radier	31
Figure 25 – Perte de briques à la couronne.....	32
Figure 26 – Exemple d’abrasion du radier d’une conduite.....	36
Figure 27 – Exemple de corrosion par une attaque au H ₂ S.....	36
Figure 28 – Illustration d’un vide important dans le cas d’une conduite en brique.....	41
Figure 29 – Illustration de la création du vide par la fluctuation du niveau d’eau dans la conduite.....	42
Figure 30 – Appareil permettant la localisation de conduite	45

Figure 31 – Illustration de l'utilisation d'une antenne pour procéder à l'auscultation à l'aide d'un radar	46
Figure 32 – Inclinomètre et image type lors d'un visionnement.....	47
Figure 33 – Exemple d'un profilomètre au laser	47
Figure 34 – Gabarit	49
Figure 35 – Diagramme de processus des activités d'un programme de prévention ou de réduction de l'infiltration et de l'eau de captage	50
Figure 36 – Exemple d'une auscultation à l'aide de l'essai de vérinage interne	52
Figure 37 – Caméra à téléobjectif.....	53
Figure 38 – Camion d'inspection par caméra à téléobjectif	54
Figure 39 – Inspection télévisée par caméra à téléobjectif.....	55
Figure 40 – Exemple d'image tirée d'une inspection par caméra à téléobjectif.....	56
Figure 41 – Caméra d'inspection à l'intérieur d'une conduite	56
Figure 42 – Caméra d'inspection télévisée à tête rotative.....	57
Figure 43 – Exemple d'une caméra télescopique.....	59
Figure 44 – Sonar seul.....	60
Figure 45 – Image type d'inspection.....	61
Figure 46 – Illustration du cycle de vie d'une infrastructure.....	63
Figure 47 – Représentation des quatre phases du cycle de vie d'un actif et des types d'intervention recommandés	64
Figure 48 – Exemples d'outils pour aléser les obstructions dans une conduite.....	68
Figure 49 – Illustrations de la technique de chemisage	70
Figure 50 – Exemple de tubage segmenté	71
Figure 51 – Exemple de tubage déformé.....	72
Figure 52 – Exemple de tubage ajusté.....	72
Figure 53 – Exemple d'insertion conventionnelle	73
Figure 54 – Force de flottaison et pression externe sur la conduite insérée	73
Figure 55 – Exemple de prix pour la technique de chemisage	74
Figure 56 – Exemple de chemisage ponctuel	75
Figure 57 – Exemples de manchons internes	75
Figure 58 – Éclatement de conduite.....	77
Figure 59 – Photos d'un microtunellier	77
Figure 60 – Procédure utilisée pour le forage dirigé	78
Figure 61 – (Photo 1) Armature visible de 8 h à 9 h	92

Figure 62 – (Photo 2) - Raccordement à la masse défectueux et pénétrant / Dépôts attachés - incrustation / Armature visible / Suintement	92
Figure 63 – (Photo 3) Éclat de surface avec trou et sol apparents	93
Figure 64 – (Photo 4) Raccordement à la masse défectueux et pénétrant - Armature apparente .	93
Figure 65 – (Photo 5) Joint décalé moyen	94
Figure 66 – (Photo 6) - Raccordement pénétrant avec armature visible sous le radier.....	94
Figure 67 – (Photo 7) Éclat de surface avec armature visible.....	95
Figure 68 – (Photo 8) Joint décalé moyen	95
Figure 69 – (Photo 1) Trou au joint.....	98
Figure 70 – (Photo 2) - Joints décalés moyens	98
Figure 71 – (Photo 3) Raccordement obstrué	99
Figure 72 – (Photo 4) Raccordement pénétrant et défectueux	99

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Risque de lessivage vs types de sol	38
Tableau 2 – Risque de migration de particules de sol vs l'importance du défaut.....	39
Tableau 3 – Risque de lessivage vs les conditions hydrauliques	40
Tableau 4 – Coûts budgétaires des activités ou des interventions d'entretien mineur pour des conduites dont les diamètres varient de 200 à 450 mm	67
Tableau 5 – Coûts budgétaires d'activités ou d'interventions d'entretien majeur.....	68
Tableau 6 – Exemple de prix de techniques d'entretien majeur.....	69
Tableau 7 – Coûts budgétaires du chemisage de conduites circulaires	74
Tableau 8 – Coûts budgétaires d'une intervention par chemisage ponctuel.....	76
Tableau 9 – Cotes rapide et maximale pour les conduites des exercices 1 et 2	89
Tableau 10– Exercice pratique n° 1.....	90
Tableau 11 – Exercice pratique n° 2.....	97

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis plus de vingt ans, différents organismes ont sonné l'alarme quant à l'état avancé de détérioration de nos infrastructures urbaines. Celles-ci exigent des réparations coûteuses se chiffrant en milliards de dollars. Chacun connaît l'importance des infrastructures urbaines pour toutes les activités humaines et leur détérioration est telle qu'elle met en péril la santé économique du Québec et du Canada. Les gestionnaires et les décideurs ont besoin de méthodes efficaces pour évaluer l'état des infrastructures et de technologies novatrices pour assurer leur rénovation de manière économique et durable.

Rappelons que les infrastructures municipales sont le squelette de l'organisation municipale, du développement de la communauté et de la croissance économique. Rappelons aussi que les ressources humaines et financières nécessaires à leur remise à niveau et à leur maintien sont très limitées. C'est la raison pour laquelle il est essentiel de leur porter l'attention nécessaire et de mieux connaître leur état. Ainsi, il sera plus facile d'intervenir de façon optimale.

Comme partout en Amérique du Nord, les villes du Québec ont des réseaux souterrains (eau potable et égouts) qui nécessitent des réparations et des remplacements sur une base continue. En 2005, pour s'assurer que les interventions sur les réseaux aient fait l'objet d'une analyse structurée, le gouvernement du Québec, par l'intermédiaire du ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT), a décidé de promouvoir la réalisation de plans d'intervention auprès des villes et municipalités, en produisant et diffusant un guide d'élaboration des plans d'intervention. Les plans d'intervention réalisés devaient permettre de prioriser les conduites nécessitant des interventions.

Bien entendu, pour identifier les sections de réseaux d'égouts prioritaires, il aurait été utile de pouvoir compter sur un système d'évaluation de l'état des réseaux, commun à toutes les villes du Québec, comprenant notamment une liste d'indicateurs et des cotes de condition (physique, hydraulique et environnementale), les niveaux de service visés et les évaluations de coûts associés aux différentes options d'intervention. Ce n'était pas le cas et la prise de conscience de cette situation a permis de lancer un exercice concerté visant à identifier et à implanter au Québec le protocole disponible le plus complet possible.

Disposer d'un protocole standard et d'un système d'évaluation unique ne comble pas tous les besoins; il faut être en mesure d'interpréter les données, de comprendre les mécanismes en jeu et d'identifier les solutions et alternatives possibles à mettre en œuvre pour assurer la pérennité des réseaux. Le MAMROT a décidé de prendre l'initiative et de jouer le rôle de catalyseur dans la création de formations et de manuels d'accompagnement pour développer la connaissance dans ce domaine et en faire la promotion.

Depuis la publication du Guide d'élaboration des plans d'intervention, les villes et les municipalités se sont engagées dans des activités de gestion des actifs par le biais de la réalisation des plans d'intervention. La pérennité des réseaux d'eau potable et des réseaux d'égouts fait maintenant partie de leurs priorités.

C'est dans le but de rendre disponibles aux gestionnaires des outils pratiques leur permettant de compléter leurs connaissances que le Ministère a confié à des experts du domaine la réalisation d'outils de formation qui seront largement diffusés au Québec. Le présent ouvrage s'inscrit dans cette orientation.

Les objectifs spécifiques de ce manuel sont d'abord présentés au premier chapitre et seront suivis, au deuxième chapitre, de la description des déficiences et dégradations que l'on retrouve dans des conduites d'égout. De plus, seront énumérés, pour chaque déficience, les symptômes permettant de les détecter, les causes possibles de leur présence et les mesures correctrices générales qu'il est possible de mettre en œuvre.

Le chapitre 3 décrit les principaux facteurs influençant le taux de dégradation de l'état des conduites. Les chapitres 4 et 5 sont consacrés respectivement aux outils d'auscultation, ainsi qu'aux familles et techniques d'intervention à privilégier à différentes périodes du cycle de vie de la conduite. Pour chaque outil et technique, une courte description du contexte de leur utilisation, les équipements mis en œuvre et/ou leur principe de fonctionnement, les limitations et les résultats attendus sont présentés.

Finalement, le chapitre 6 présente et discute deux types d'indice d'état, le chapitre 7 décrit une méthodologie d'analyse en vue de recommander des interventions et celle-ci est illustrée par des exemples pratiques qui se retrouvent au chapitre 8. Ce manuel est complété par une conclusion générale.

1 OBJECTIFS DU DOCUMENT

La canalisation des eaux usées existe depuis plusieurs millénaires. Ces pratiques n'ont pas traversé le temps comme l'histoire nous l'apprend. Ce n'est qu'au milieu du 19^e siècle que les autorités des villes canadiennes ont pris conscience de la nécessité de canaliser et d'évacuer les eaux usées afin d'éliminer les risques pour la santé publique. Les premières conduites mises en terre étaient fabriquées de bois et, au fur et à mesure de l'évolution des techniques et des connaissances, le grès, la brique, la pierre et le béton ont fait leur apparition. Plusieurs de ces conduites sillonnent encore le sous-sol de nos villes les plus anciennes.

Au fil du temps, d'autres matériaux sont apparus : le béton armé, l'amiante ciment, l'acier et, plus récemment, le PVC. Le comportement de la plupart de ces matériaux est connu. Le modèle de détérioration développé par le Water Research Centre (WRC) peut être appliqué pour comprendre et anticiper les dégradations que l'on retrouve sur ces conduites. Seul le PVC, matériau beaucoup plus récent, exigera un suivi mettant en relation les défauts observés et leur mode de détérioration dans le temps, afin de valider que le comportement à long terme et le processus de détérioration de ce matériau répondent au modèle du WRC.

Ainsi, pour faciliter l'identification des défauts et pour juger de leur sévérité ainsi que des risques pour la pérennité de la conduite, il est important d'en connaître les symptômes et les causes et de pouvoir anticiper leurs conséquences. D'autre part, plusieurs facteurs extérieurs à la conduite elle-même peuvent influencer la vitesse à laquelle tel ou tel défaut pourra s'aggraver.

Les gestionnaires et intervenants techniques intéressés par la gestion des réseaux d'égouts sur le cycle de vie pourront trouver, dans les pages qui suivent, des informations leur permettant de comprendre les liens qui existent entre les défauts que l'on retrouve dans les conduites d'égout, leurs conséquences éventuelles et les mesures à prendre pour les corriger. Le présent document vise donc à fournir les informations nécessaires pour que les utilisateurs puissent :

- être en mesure d'identifier et d'évaluer les principaux défauts rencontrés;
- reconnaître les symptômes, les causes et les conséquences des défauts rencontrés;

- comprendre les facteurs influençant le taux de dégradation de l'état des conduites;
- être en mesure de poser un diagnostic de l'état d'une conduite d'égout;
- identifier les techniques d'intervention disponibles dans les réseaux d'égouts, selon le stade de détérioration;
- comprendre le système de pointage rapide du PACP et la cote maximale;
- recommander la meilleure intervention selon la nature, la gravité et l'étendue des défauts.

2 DÉFICIENCES ET DÉGRADATION DES CONDUITES D'ÉGOUT

On peut se demander s'il existe des causes autres que l'âge pour expliquer l'état de détérioration de certaines conduites d'égout. En effet, pourquoi deux conduites du même âge et de fabrication semblable présentent-elles des états structuraux différents? Ce chapitre propose des réponses à cette question :

- l'installation d'une conduite peut avoir été déficiente à cause de mauvaises pratiques de construction ou de l'utilisation de méthodes inadéquates, compte tenu de l'environnement dans lequel la conduite a été installée;
- la conduite peut avoir été endommagée lors de travaux sur une infrastructure adjacente;
- les critères de conception peuvent être périmés à la suite des modifications au niveau de la demande de service ou à l'environnement physique dans lequel la conduite est enfouie.

Toutes ces raisons qui expliquent l'état de certaines conduites ne nous informent cependant pas sur les conséquences de leur dégradation future. Pour comprendre l'évolution de la dégradation à partir d'un défaut initial, il est utile de connaître la nature du sol environnant la conduite, les régimes hydrauliques interne et externe à la conduite et l'environnement physique de la conduite, responsable des charges structurales auxquelles la conduite est soumise.

Toutes ces informations sont à la base du modèle de détérioration développé par le WRc que nous avons adopté, car notre expérience dans le domaine de l'analyse des réseaux d'égouts en valide les grands principes. Ce modèle identifie trois stages d'évolution des défauts : le premier stage est la création du défaut initial, le deuxième stage est l'aggravation de ce défaut (taux de détérioration variable selon des facteurs internes et/ou externes à la conduite elle-même) et le troisième stage est l'effondrement de la conduite.

Les paragraphes qui suivent répertorient, de façon succincte, les déficiences fonctionnelles et structurales, leurs symptômes, leurs causes, leurs conséquences et les orientations générales quant aux types d'intervention à faire pour les corriger.

2.1 PROBLÉMATIQUE FONCTIONNELLE

Cette section regroupe plusieurs déficiences fonctionnelles parmi les plus courantes. Ces déficiences peuvent aussi être une cause ou une conséquence d'une déficience structurale. Il est important de leur apporter toute l'attention nécessaire, car elles peuvent avoir des conséquences néfastes pour les usagers. Cinq types de déficiences fonctionnelles seront présentés : capacité insuffisante, infiltration/exfiltration, obstructions, racines et bas-fonds. Une déficience supplémentaire provenant des caractéristiques de construction, soit les déviations horizontales ou verticales, est ajoutée, car les conséquences touchent la fonctionnalité de la conduite.

2.1.1 Capacité insuffisante

Une capacité hydraulique insuffisante signifie que la conduite ne permet pas d'évacuer les eaux usées recueillies.

Symptômes

On peut détecter une capacité hydraulique insuffisante par l'observation de la mise en charge de conduites conçues pour s'écouler gravitairement. Ultimement, ces situations s'aggraveront et des refoulements d'égouts se produiront.

Un autre indice de capacité hydraulique insuffisante est une trace de graisse à la couronne de la conduite; la graisse est plus légère que l'eau et se dépose sur la paroi de la conduite au niveau de l'écoulement. Ce n'est que lorsque la conduite coule pleine que la graisse peut se déposer au niveau de la couronne.



Finalement, un manque de capacité hydraulique pourra se manifester par des refoulements de l'égout ou des odeurs dégagées par l'égout. On pourra consulter le registre des plaintes à cet égard.

Figure 1 – Exemple d'une conduite montrant des signes de mise en charge (dépôts graisseux de 10 h à 11 h et de 1h à 2 h)

Causes possibles

Plusieurs situations peuvent expliquer une insuffisance de capacité hydraulique. D'abord, cela peut être causé par un mauvais entretien, une mauvaise conception ou encore des changements d'affectation du sol (urbanisme et zonage) durant la vie

utile de la conduite, entraînant une augmentation des débits d'eaux usées à véhiculer par la conduite ou le réseau.

Ensuite, des défauts liés à l'étanchéité du réseau peuvent faire en sorte d'augmenter les débits d'infiltration dans la conduite. Finalement, différents types d'obstruction (accumulation de débris ou effondrement de conduite) peuvent occasionner des refoulements ponctuels dans une conduite d'égout et faire croire à une insuffisance hydraulique de la conduite.

Conséquences

Les conséquences d'une insuffisance de la capacité hydraulique sont d'abord des risques pour la santé publique et pour l'environnement lors de refoulements ou de déversements par trop-pleins. De plus, une capacité hydraulique insuffisante, même si elle ne se matérialise pas par des refoulements, crée des cycles de surcharge dans la conduite, ce qui augmente les risques de lessivage du sol enrobant la conduite lorsqu'il y a présence de défauts structuraux (fissures, fractures, joints ouverts/décalés). Finalement, lors de refoulements d'égouts dans les résidences ou les commerces, la ville s'expose à des poursuites en justice, ce qui peut engendrer des conséquences financières importantes.



Figure 2 – Inondation d'une autoroute en raison d'un manque de capacité de l'égout

Mesures correctrices

Selon la cause du problème, différentes actions peuvent être entreprises pour corriger la situation. À titre d'exemple, citons les actions suivantes :

- des mesures liées à l'entretien (programme périodique de nettoyage);
- des mesures liées à la réhabilitation hydraulique (séparation des égouts, élimination de l'infiltration et du captage);
- des mesures liées à la conception du réseau lui-même (augmentation du diamètre de la conduite, relocalisation des trop-pleins, développement de solutions alternatives de drainage pluvial).

2.1.2 Infiltration/exfiltration

Comme cité précédemment, l'infiltration et les eaux de captage peuvent causer une surcharge hydraulique dans les réseaux d'eaux usées. L'infiltration et les eaux de captage peuvent aussi être des sources de dommages structuraux causés aux éléments constituant le réseau d'égouts (par migration des particules de sol provenant de l'enrobage ou de l'assise de la conduite). Ces problèmes ont tendance à croître avec le temps et le fait de reporter une intervention peut entraîner de sérieux problèmes tels que



Figure 3 – Exemple d'une infiltration à travers un joint non étanche

l'effondrement de certains tuyaux. Les vides créés dans le sol peuvent eux aussi causer des dommages aux infrastructures avoisinantes (aqueduc, routes, services publics). L'infiltration n'est pas nécessairement visible lors des inspections par temps sec ou en période de nappe basse. Il faut aussi noter qu'une absence d'infiltration n'indique pas nécessairement que l'égout n'a aucun défaut.

La présence de joints non étanches peut entraîner de l'exfiltration. Dans le cas des conduites gravitaires, l'exfiltration peut se produire, soit lorsque la partie endommagée se trouve dans la section mouillée de la conduite (radier) et au-dessus du niveau de la nappe phréatique, ou encore lorsqu'il y a surcharge dans la conduite et que la pression interne est supérieure à la pression externe.

Symptômes

Les infiltrations sont visibles lorsque le niveau de la nappe phréatique se situe au-dessus du niveau de la conduite et que la nappe phréatique pénètre dans la conduite par les joints ou les défauts non étanches. Les infiltrations sont accompagnées ou non de dommages visibles, par exemple : bris au joint ou encore bris sur la conduite elle-même, aux raccordements ou aux regards. Outre la présence d'eau qui pénètre dans la conduite, on peut noter des accumulations de dépôts calcaires aux joints ou aux endroits où une déficience structurale est identifiée.

Les symptômes de l'exfiltration peuvent être des bas-fonds localisés, ou l'érosion du radier dans le cas des conduites préfabriquées, ou l'affaissement du radier dans le cas des conduites en brique.

Causes possibles

L'infiltration peut être causée par un haut niveau de la nappe phréatique ou par une fuite de conduite d'eau située à proximité, combinée à la présence de joints ou de raccordements non étanches, de matériaux défectueux ou par la présence de défauts structuraux.

Joints ou raccordements non étanches

Les différentes situations menant à la perte d'étanchéité aux joints ou raccordements sont les suivantes :

- une garniture manquante ou mal installée;
- une mauvaise préparation du joint (saleté ou lubrifiant inapproprié);
- un matériel ou un produit d'étanchéité utilisé à la mauvaise température;
- un emboîtement non centré des conduites, causé par un mauvais appareillage ou une méthode inadéquate d'installation;
- un emboîtement incorrect (pas assez profond);
- une mauvaise fusion dans le cas des conduites en polyéthylène;
- un manque de flexibilité dans la connexion entre la conduite et la structure (regard);
- un raccordement ajouté sans sellette ou un percement avec un mauvais outil (défoncé au marteau et cimenté);
- des méthodes inappropriées de nettoyage des conduites (trop agressives).

Matériaux défectueux

Les matériaux d'étanchéité utilisés antérieurement (avant les normes du Bureau de normalisation du Québec (BNQ) des années 70) ne rencontraient pas nécessairement les exigences actuelles et peuvent être des causes de perte d'étanchéité et d'infiltration. De plus, une mauvaise mise en place des garnitures lors de l'installation (se voit souvent lors des inspections télévisées) et des modes d'opération inadéquats peuvent aussi être la cause d'infiltration. La qualité des conduites elles-mêmes peut être en cause puisque les normes ont évolué depuis les années 70. On retrouvait les défauts suivants sur les conduites de béton ou de PVC :

- la séparation des agrégats du béton formant la conduite et une mauvaise compaction;
- des fissures de retrait qui excèdent les tolérances;
- une mauvaise adhérence entre le béton et l'armature (tuyau en béton armé (TBA));
- des méthodes de fabrication qui induisent de grandes contraintes aux conduites;

- des conduites endommagées lors de l'entreposage, du transport ou de l'installation.

Défauts structuraux

La plupart des défauts structuraux que l'on peut retrouver sur une conduite peuvent constituer une source d'infiltration.

La figure suivante illustre les conditions favorisant les phénomènes d'infiltration/exfiltration dans les conduites gravitaires, sous pression et sous vide.

	Conduite en écoulement gravitaire	Conduite en écoulement sous pression	Conduite sous vide
Exfiltration			Seulement possible en cas de défaillance
			Seulement possible en cas de défaillance $p_i > p_a$
Infiltration			

Remarque : Défauts d'étanchéité dans les conduites montrées

Figure 4 – Possibilités d'exfiltration et d'infiltration dans les réseaux d'égouts¹

Conséquences de l'infiltration/exfiltration

Les conséquences de l'infiltration/exfiltration sont des dommages physiques aux infrastructures (conduites, routes), des risques pour l'environnement (contamination de la nappe) et des risques pour la santé humaine (contamination de la nappe phréatique, source d'eau potable).

¹ Tiré et traduit de Rehabilitation and maintenance of Drains ans Sewers, Stein, 2001.

Les phénomènes d'infiltration/exfiltration se matérialisent par la circulation de l'eau, de l'extérieur vers l'intérieur ou de l'intérieur vers l'extérieur de la conduite, qui entraîne des risques de lessivage du sol environnant la conduite (assise et enrobage) et, ultimement, l'effondrement des sections de conduite où les vides se produisent. Les deux figures qui suivent illustrent le phénomène du lessivage des particules de sol attribuable à l'infiltration/exfiltration.

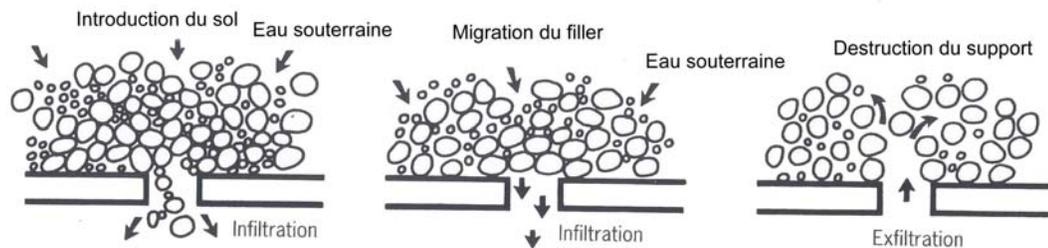


Figure 5 – Mécanisme d'érosion du sol non cohésif lors de l'infiltration/exfiltration²

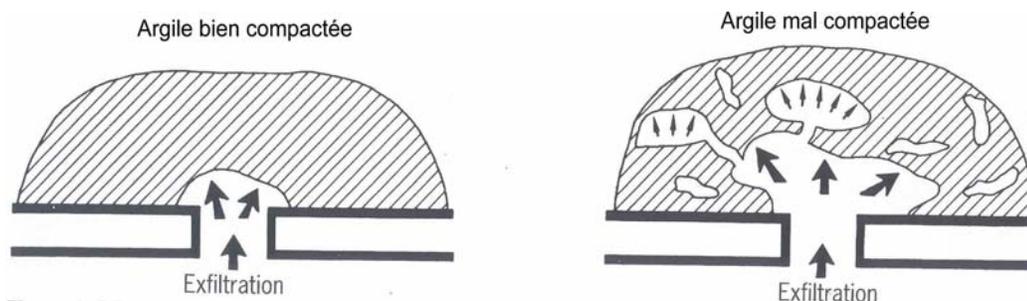


Figure 6 – Mécanisme d'érosion du sol cohésif lors de l'infiltration/exfiltration³

Les conséquences peuvent être perceptibles à plusieurs niveaux et dans plusieurs activités liées à la collecte et au traitement des eaux usées. Une liste non exhaustive est fournie ci-après :

- augmentation de la quantité d'eau à traiter et des matières en suspension à éliminer, cela se traduisant par des augmentations des coûts de traitement et des pertes d'efficacité;
- demande d'entretien plus importante à cause des dépôts;
- augmentation de la charge hydraulique pour tout le réseau;

² Tiré et traduit de Rehabilitation and maintenance of Drains and Sewers, Stein, 2001.

³ Tiré et traduit de Rehabilitation and maintenance of Drains and Sewers, Stein, 2001.

- abaissement de la nappe phréatique avec des risques de dommages aux structures et à la végétation;
- lessivage de l'assise et de l'enrobage de la conduite ainsi que risque de créer des défauts (bas-fonds, bris, effondrements, etc.);
- création de vides autour de la conduite;
- risque de pénétration de racines.

Mesures correctrices

Les interventions qu'il est recommandé de faire doivent avoir pour but d'éliminer la circulation de l'eau de l'intérieur vers l'extérieur et vice versa. Ainsi, l'élimination de l'infiltration par colmatage aux joints et aux défauts mineurs ainsi que la réparation ponctuelle, avec ou sans tranchée, des défauts plus importants font partie des mesures correctrices. Tous les joints doivent être testés et, au besoin, colmatés, que l'on ait constaté ou non de l'infiltration, car cela permet d'éviter que les eaux d'infiltration ne migrent à proximité des joints colmatés.

2.1.3 Obstructions

Les obstructions sont des objets ou des matériaux qui sont dans la conduite et qui limitent la circulation de l'eau en diminuant l'espace disponible; les structures comme les réducteurs ne font pas partie des obstructions. Les obstructions sont, par exemple, des dépôts durs (dépôts de longue date durcis), des objets intrusifs, des incrustations (calcaire) ou encore des objets véhiculés par les eaux (dépôts ou objets).

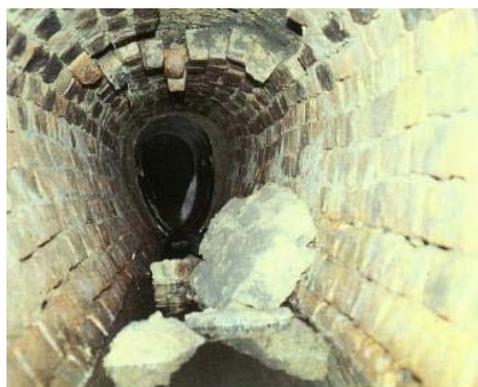


Figure 7 – Exemple d'obstruction

Symptômes

La présence d'obstructions peut être la cause de l'augmentation du niveau d'eau, sans qu'il y ait une modification de l'alignement horizontal de la conduite ou de plaintes de refoulements ou d'odeurs.

Causes possibles

Les causes de ces défauts sont notamment des pentes trop faibles (à la conception), de mauvaises pratiques de construction (pas de nettoyage avant la mise en service, oubli d'objets dans la conduite, etc.), un mauvais entretien, une mauvaise

installation d'une garniture d'étanchéité, des pièces de conduite qui se sont détachées ou encore le résultat de l'infiltration. Elles peuvent aussi être dues à l'intervention d'un tiers ou à l'installation d'une infrastructure dont le profil croise celui de l'égout.

Conséquences

Lorsque les dépôts (causés par la gravité (poids vs vitesse)) ne sont pas enlevés régulièrement, ils se fixeront et durciront sur place, selon leur nature et avec le temps. Les dépôts proviennent en général des eaux usées industrielles et commerciales, de l'eau de surface et de l'eau d'infiltration.

Les objets intrusifs peuvent être des poteaux, des tiges d'ancrage qui passent à travers une conduite, des lances d'injection ou de forage, des branchements pénétrants, des conduites qui traversent (aqueduc, gaz). Ils créent une restriction de la section et peuvent être la cause d'accumulation de débris (filasse) et, éventuellement, de refoulements.

Mesures correctrices

Pour éviter que des dépôts s'accumulent et deviennent des obstructions, il est recommandé de procéder au nettoyage périodique des réseaux d'égouts. Certaines sections de conduites pourront nécessiter une fréquence de nettoyage plus grande. Certains types d'obstruction peuvent être retirés par alésage, tandis que d'autres devront être retirés par excavation ponctuelle ou par reconstruction complète.

2.1.4 Racines

Lorsqu'un égout est situé au-dessus de la nappe phréatique, il y a un risque que les racines des arbres à proximité soient attirées par l'eau qu'il véhicule. Les racines peuvent même pénétrer par les fissures très fines et il est peu probable qu'un égout qui a un petit défaut structural soit à l'abri de la pénétration des racines.



Figure 8 – Exemple de blocage provoqué par la présence de racines

Symptômes

Les « fils » que l'on peut observer émergeant de joints, de fissures ou de défauts structuraux mineurs sont des racines. Des amas

fibreux ou des cordons qui se retrouvent dans les conduites d'égout sont aussi des racines. Habituellement, elles se retrouvent à chaque joint ou à chaque défaut qui rend la conduite non étanche.

Souvent, ces problématiques sont identifiées à la suite de l'enregistrement de plaintes de refoulements ou d'odeurs.

Causes possibles

Tout endroit de l'égout qui n'est pas étanche (joint, déficience) favorise l'intrusion de racines lorsque la nappe phréatique se situe au-dessous du radier de la conduite.

La présence de certaines essences d'arbres au-dessus des conduites augmente le risque d'intrusion.

Conséquences

En soi, les racines ne sont pas un problème grave, mais leur présence peut aggraver les fissures existantes ou causer des blocages et des surcharges qui accélèrent la détérioration.

Les conséquences de la présence de racines sont :

- une réduction de la capacité hydraulique;
- des risques de blocage;
- une augmentation des efforts d'entretien et de nettoyage;
- la décomposition anaérobie des dépôts qui se retrouvent à travers les racines, pouvant être une source de gaz et d'odeurs nuisibles et entraînant la corrosion des conduites de ciment (H₂S).

Mesures correctrices

On peut utiliser la technique d'alésage pour retirer les racines, jumelée au colmatage avec un produit inhibiteur de racines, pour étanchéiser les joints et les défauts et détruire les racines. Ces produits inhibiteurs de racines (par exemple le sulfate de cuivre) sont non dommageables pour l'environnement et permettent un contrôle des racines sur une période d'environ cinq ans. Il est important d'utiliser un produit certifié par Agriculture Canada quant à son innocuité pour l'environnement.

Par ailleurs, les méthodes pour enlever les racines peuvent aussi causer des dommages structuraux, il est donc important d'en évaluer les effets avant de les mettre en œuvre.

2.1.5 Bas-fonds

Symptômes

Les bas-fonds sont détectables, soit lors d'une inspection télévisée conventionnelle ou lorsqu'ils sont la cause de refoulements d'égouts. Lorsque le niveau d'eau augmente soudainement et ponctuellement sur une courte distance, il est fort probable qu'on se trouve devant un bas-fond. Les figures suivantes illustrent le phénomène.



Figure 9 – Exemple d'un bas-fond

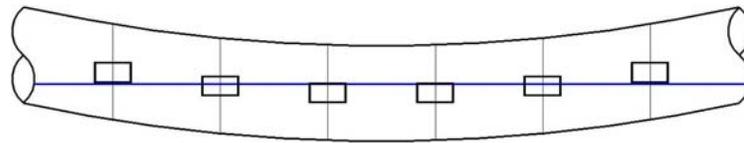


Figure 10 – Illustration du déplacement d'une caméra de télévision dans un bas-fond

La figure qui suit illustre le mécanisme de création d'un bas-fond.

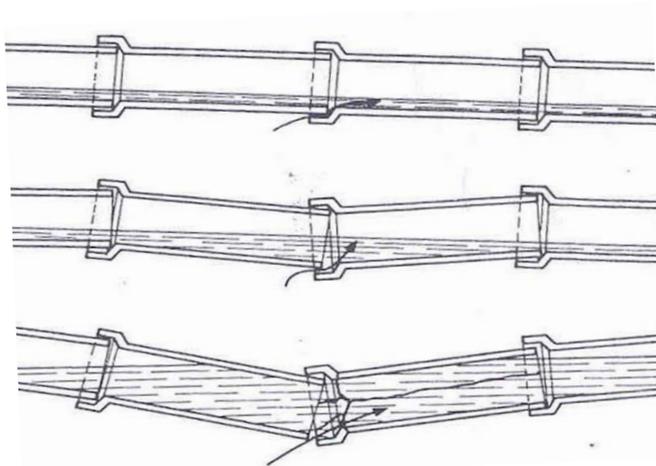


Figure 11 – Illustration du mécanisme de création d'un bas-fond

Causes possibles

Parmi les causes possibles, on retrouve un joint ouvert ou une mauvaise connexion. Les défauts visibles sont un joint décalé et de l'infiltration. Par la suite, il y a de l'infiltration ou un cycle infiltration/exfiltration entraînant le lessivage des particules. On note une perte de support, la conduite bouge, les joints s'ouvrent davantage et il y a encore plus de lessivage. Les défauts visibles sont un joint ouvert et décalé, une perte d'alignement et de niveau ou de l'infiltration.

Cette problématique peut aussi être le symptôme d'une mauvaise installation ou d'un tassement différentiel du sol.

Conséquences

En fin de processus, on note une plus grande perte de support de la conduite au joint qui cause des fractures à la conduite. Le processus s'accélère et l'égout fracturé peut se déformer. Les défauts visibles sont des joints ouverts et déplacés, des fractures et des fissures, une perte d'alignement et de niveau. Par ailleurs, un bas-fond peut causer une accumulation de dépôts et une diminution de la capacité hydraulique, occasionner des plaintes d'odeurs ou de refoulements et accroître les besoins en entretien.

Mesures correctrices

Après avoir validé que le bas-fond cause des problèmes fonctionnels, une réparation ponctuelle par excavation peut être planifiée. Cependant, lorsque certaines conditions sont réunies, il est envisageable de repousser dans le temps la réparation par excavation. Par exemple, lorsque l'importance et l'étendue du bas-fond sont limitées et que des travaux à des infrastructures adjacentes sont prévus à court terme, il pourrait être plus rentable de les coordonner.

Ayant en main ces informations, le gestionnaire évaluera l'opportunité de procéder à la correction de cette déficience.

2.2 PROBLÉMATIQUE STRUCTURALE

Avant de discuter des défauts structuraux comme tels, nous présenterons différents phénomènes qui permettront de mieux comprendre les mécanismes mis en œuvre dans la détérioration structurale des conduites d'égout. Ces mécanismes sont souvent spécifiques aux matériaux des conduites.

Différents travaux ont permis, pour certains types d'infrastructures, de développer des courbes et des taux de détérioration dans le temps. En ce qui concerne les conduites d'égout, les courbes de dégradation ne permettent pas de prédire l'état futur d'une conduite et c'est la raison pour laquelle elles ne sont pas utilisées. À cet égard, les experts du WRc ont bien résumé l'approche la plus appropriée pour l'analyse des conduites d'égout :

*« Le suivi à long terme de conduites d'égout a été fait et peut fournir des guides de détérioration à long terme. Mais, le concept de taux de détérioration d'un égout n'est pas réaliste. La détérioration est plus influencée par des événements fortuits qui se produisent durant la vie d'un égout. Le concept de risque ou de probabilité d'un effondrement est plus approprié ».*⁴

L'établissement de l'état de détérioration d'une conduite d'égout demande du jugement, car la compréhension des raisons qui causent l'effondrement des égouts est imparfaite. Les informations disponibles pour établir leur condition sont limitées. De plus, il est très difficile de prédire le moment où un effondrement de conduite se produira, car il y a plusieurs éléments à considérer comme la localisation de la conduite, les charges externes, le régime hydraulique, le comportement des matériaux dont elle est fabriquée, etc.

Il est toutefois possible de présumer qu'une conduite a atteint un degré de détérioration tel que son effondrement est probable. Par contre, il n'est pas possible de prédire l'événement qui causera son éventuel effondrement, car celui-ci n'est pas nécessairement en lien direct avec la cause de la détérioration.

La naissance de l'éventuel effondrement d'un égout provient habituellement d'un défaut mineur qui se produit très tôt au cours de sa vie utile et qui s'aggrave au fil du temps, et ce, sur une période indéterminée. Il est donc important d'identifier les défauts, de connaître leur importance relative et de considérer les facteurs et les conditions qui entraînent et accélèrent leur détérioration.

⁴ Tiré et traduit de Sewerage Rehabilitation Manual (SRH) du Water Research Centre, 1986 – Traduction libre.

Le modèle de détérioration structurale développé par le WRc comporte trois étapes distinctes : la première étape est la formation d'un défaut initial durant ou après la construction de la conduite d'égout, la deuxième étape est la détérioration de l'état de la conduite à partir de ce défaut et la troisième étape est l'effondrement final de la structure affaiblie.

Ce modèle est illustré par le schéma suivant :

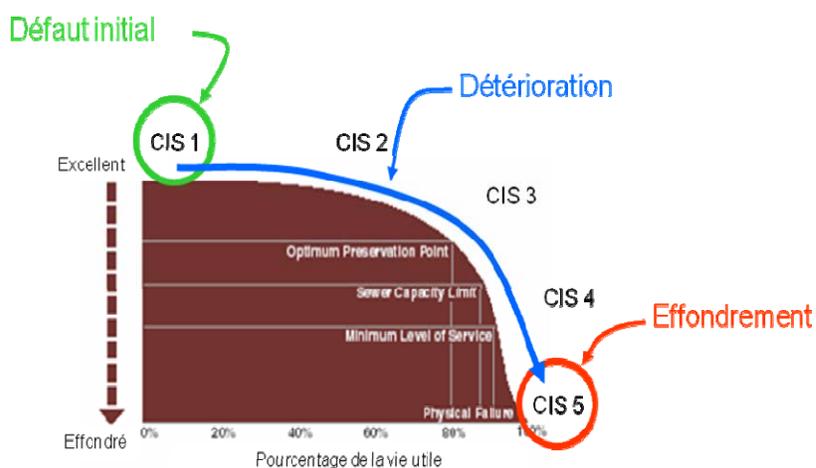


Figure 12 – Modèle théorique de la dégradation d'une conduite

Les déficiences structurales qui seront discutées dans les paragraphes qui suivent sont :

- les fissures/fractures;
- les bris;
- les trous;
- les déformations;
- les défauts de surface;
- la perte de support latéral;
- les briques manquantes;
- l'affaissement de radier;
- les raccordements défectueux.

2.2.1 Fissures/fractures

Les fissures et les fractures se produisent principalement sur les conduites rigides. Les fissures/fractures sont classées en quatre types : circulaire, longitudinal, multiple et spiral. Les fissures/fractures sont précurseurs de dommages importants.

Les fissures et les fractures circulaires, longitudinales et multiples seront présentées de façon distincte.

2.2.1.1 Fissures/fractures circulaires

Généralement, les fissures et les fractures circulaires sont observées sur toute la circonférence de la conduite et sont localisées au centre de la section de conduite, au joint ou à la connexion au regard. On peut avoir des fractures plus ouvertes d'un côté que de l'autre.

Symptômes

Les fissures sont des lignes visibles sur la surface de la conduite, autres que les fissures de retrait qui peuvent être présentes dans les conduites de béton. Les fractures sont des fissures visiblement « ouvertes ».



Figure 13 – Exemple d'une fissure circulaire

Causes possibles

Les causes possibles sont les charges en flexion qui excèdent la capacité de la conduite, des charges de poinçonnement (roches dans l'assise), une conduite appuyée sur la cloche, une connexion rigide avec une structure (regard), un résultat de la perte d'étanchéité ou l'influence de la température. On parle aussi de support inégal à la suite d'une mauvaise assise ou d'un manque au niveau du remblayage.

Conséquences

Les fissures circulaires ne sont pas des défauts graves, mais elles peuvent créer de l'infiltration et occasionner la détérioration de la conduite. Les fractures circulaires sont une aggravation des fissures et doivent être traitées, car le risque de lessivage est augmenté.

Mesures correctrices

Les interventions correctrices possibles sont le colmatage par injection, la réhabilitation ponctuelle à l'aide de manchons ou par chemisage et la réparation ponctuelle par excavation. Si les défauts sont nombreux, une intervention sur toute la section peut être requise.

2.2.1.2 Fissures/fractures longitudinales

Les fissures/fractures longitudinales sont les fissures qui se produisent surtout dans les conduites rigides. Dans la plupart des cas, elles se retrouvent aux quatre quarts de la conduite circulaire; dans ce cas, elles sont nommées « fissures en croix »; les fissures à 12 h et à 6 h sont ouvertes à l'intérieur, ce sont des fractures (zones de tension) et les fissures à 3 h et à 9 h sont fermées à l'intérieur (zones de compression). Lorsque l'on aperçoit des fissures à 3 h et à 9 h, c'est



Figure 14 – Fissures longitudinales à 12 h, 3 h et 9 h

un indice que le processus de dégradation risque de s'accélérer à moyen terme. Pour les autres formes de conduites, les conduites ovoïdes par exemple, les fissures/fractures se retrouvent habituellement à 12 h, à 2 h et à 10 h, soit à la rencontre de la voûte et des piédroits.

Dans les égouts en brique, les fissures longitudinales sont difficiles à identifier, à moins que le mortier ne soit en très bonne condition. Habituellement, ce sont les fractures importantes qui sont facilement identifiables, car elles sont plus larges que la largeur normale entre deux briques. Elles sont aussi associées à la formation d'une charnière à partir de laquelle se déplacent les deux demi-sections de la couronne.

Symptômes

Les fissures longitudinales sont des lignes visibles sur la surface de la conduite dans l'axe longitudinal. Pour ce qui est des fractures, ce sont des fissures ouvertes. En général, les fissures et les fractures localisées à 6 h sont situées sous le niveau d'eau et ne peuvent être observées. Les figures ci-après illustrent les positions possibles des fissures/fractures longitudinales.

Des traces d'infiltration peuvent aussi permettre de détecter la présence de fissures.

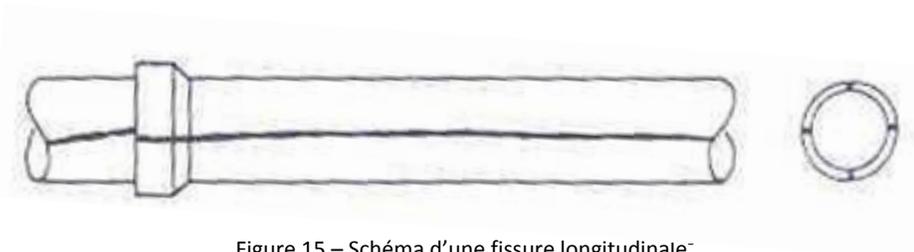


Figure 15 – Schéma d'une fissure longitudinale⁵

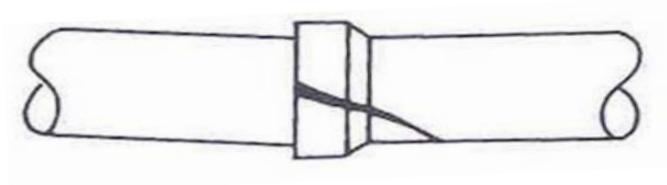


Figure 16 – Fissure longitudinale dans la région du joint de la conduite résultant d'une force radiale trop forte⁶

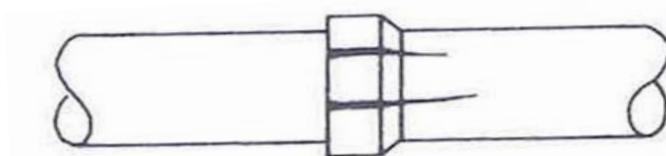


Figure 17 – Fissure longitudinale dans la région du joint de la conduite résultant d'une déviation positionnelle⁷

Causes possibles

Les causes possibles sont :

- des charges verticales supérieures aux charges de conception;
- les effets de l'usure;
- des joints mal emboîtés;
- des dommages durant le transport;
- l'entreposage;
- le remblayage ou la compaction;
- la température (soleil qui plombe sur la conduite (PVC) durant l'entreposage ou la construction).

⁵ Tiré et traduit de Rehabilitation and maintenance of Drains and Sewers, Stein, 2001.

⁶ Idem.

⁷ Idem.

Conséquences

Les fissures longitudinales sont des sources de perte de stabilité qui, une fois devenues des fractures, pourront conduire à un effondrement de la conduite. Plusieurs facteurs influent sur les dommages causés par les fissures :

- la forme de la fissure;
- la profondeur;
- la largeur;
- la nature du matériau de la conduite;
- la position de la fissure;
- la position de la conduite (par rapport à la nappe phréatique par exemple);
- la condition de l'assise et de l'enrobage.

Sous des conditions exceptionnelles (petites fissures, pas de nappe, bonne assise, conditions d'opération constantes), une conduite avec une fissure longitudinale peut être relativement stable. Mais, dans les conditions habituelles (une ou plusieurs contraintes défavorables), le processus de détérioration sera accentué par la circulation de l'eau, causant le lessivage du sol qui enrobe la conduite. En bout de processus, la perte de support permettra à la conduite de bouger sur les côtés et la couronne s'affaissera. Lorsque la déformation dépasse 10 %, c'est le début de l'effondrement, à moins que le support du sol ne soit suffisant pour maintenir le système en équilibre.

Si on a une conduite de béton armé, la déformation sera arrêtée par l'armature et l'effondrement se produira sous l'effet de la corrosion.

Mesures correctrices

Les interventions correctrices possibles sont une réhabilitation ponctuelle par gainage ou à l'aide d'un manchon, ou encore une réparation ponctuelle par excavation. Selon l'envergure des défauts, il peut être nécessaire de réhabiliter ou de remplacer la section entière.

Si l'intervention ponctuelle est l'intervention choisie, il faudra cependant être prudent, car ce type de défauts aura généralement tendance à se déplacer au-delà de l'intervention effectuée.

2.2.1.3 Fissures/fractures multiples

Symptômes

Contrairement aux fissures longitudinales et circulaires qui se propagent sur un chemin unique, les fissures/fractures multiples se propagent dans toutes les directions.

Elles se produisent lorsqu'il y a simultanément des charges verticales et un support inégal à la conduite, à partir de charges ponctuelles (ex. : roches dans le remblai) ou encore de la coïncidence de la fissuration avec des chemins de faiblesse dans la conduite.



Figure 18 – Exemple de fissures multiples de 3 h à 5 h

Les fractures sont plus graves que les fissures, mais le degré de migration du sol dans la conduite dépend du type de sol encaissant, du niveau de la nappe et du régime hydraulique dans l'égout. La figure qui suit illustre un cas typique de fractures multiples.

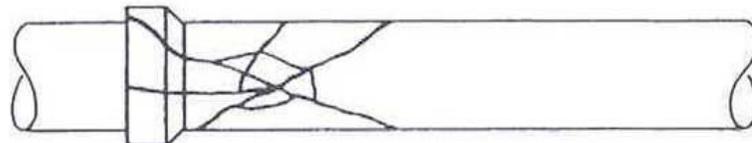


Figure 19 – Fissures multiples tirant leur origine d'un point⁸

Causes possibles

Les causes possibles sont des charges ponctuelles, une conduite appuyée sur la cloche, une roche dans l'enrobage, une mauvaise méthode de raccordement ou la pénétration extrême de racines.

Conséquences

Les conséquences prévisibles liées à ce type de fracture sont un bris ou un effondrement qui peuvent entraîner des refoulements ou des effondrements de chaussée, ou encore des dommages à d'autres infrastructures.

⁸ Tiré et traduit de Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewer, Stein, 2001.

Mesures correctrices

Si les pièces sont demeurées en place, une intervention par chemisage ponctuel est normalement recommandée. Sinon, une intervention par excavation ponctuelle doit être réalisée.

2.2.2 Bris

Une conduite est brisée quand une partie de conduite fissurée ou fracturée s'est déplacée de sa position originale ou est manquante. Cela représente habituellement le stage le plus avancé de détérioration d'une conduite fissurée ou fracturée et c'est un défaut sévère.

Symptômes

Il est possible d'observer un morceau de conduite déplacé de sa position originale.

Causes possibles

Parmi les causes possibles, notons une conduite avec des fissures multiples et des morceaux désolidarisés de la conduite, une perte d'étanchéité, de l'usure mécanique, la corrosion de l'armature ou l'aggravation des fractures.

Des changements dans le régime hydraulique de la conduite (mise en charge), des vibrations lors de travaux à proximité ou des variations du niveau de la nappe phréatique peuvent aussi provoquer le déplacement des pièces de la conduite.

Conséquences

Les conséquences peuvent être similaires à celles des fissures/fractures multiples, car il y a possibilité de lessivage de sol enrobant la conduite et de création de vides. Les morceaux de conduite déplacés peuvent éventuellement tomber. Ultimement, le risque d'effondrement augmente.

Mesures correctrices

Les interventions possibles sont des réparations ponctuelles avec ou sans tranchée.

Pour les interventions sans tranchée, il faudra cependant s'assurer qu'il n'y a aucune arête vive qui pourrait endommager la gaine ou le ballon utilisé pour l'intervention.

2.2.3 Trous

C'est un trou dans la conduite, un morceau de la paroi qui est manquant (sur toute son épaisseur).

Symptômes

Il y a absence de la paroi de la conduite, laissant normalement apparaître le sol ou un vide.

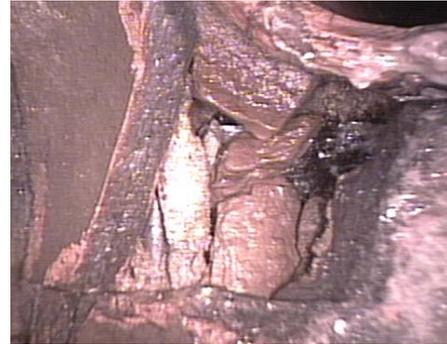


Figure 20 – Exemple de trou dans la conduite avec sol visible

Lorsqu'il est situé au joint, ce défaut laissera paraître la partie femelle du joint.

Causes

Le trou est une aggravation du bris. L'infiltration peut être une cause d'aggravation du bris menant à la création d'un trou. La réalisation de travaux à proximité d'une conduite déjà affaiblie par des fractures ou des bris peut causer la chute de morceaux de conduite, créant ainsi un trou.

Conséquences

La présence d'un trou augmente sérieusement le risque d'effondrement de la section de conduite.

Il pourra aussi être la cause d'un affaissement de la chaussée.

Mesures correctrices

Dans la plupart des cas, une réparation ponctuelle par excavation sera requise. Toutefois, on pourra effectuer une intervention sans tranchée si on a la certitude qu'aucun vide n'existe dans le sol à l'arrière de la paroi.

2.2.4 Déformations

Une déformation de conduite se produit lorsque la conduite est fissurée et que le sol sur les côtés n'offre plus de support. La probabilité d'un effondrement final est élevée lorsque la déformation est supérieure à 10 %. Cette étape finale peut arriver rapidement en réponse à une influence extérieure (surcharge en surface, surcharge hydraulique, excavation à proximité).



Figure 21 – Exemple d'une conduite déformée

Symptômes

Les déformations de conduites s'observent par la modification de la forme originale de la conduite. Dans le cas des conduites en brique ovoïdes, il peut être plus difficile d'observer une déformation, car la forme originale de ces conduites peut varier. L'importance de la déformation peut aussi être difficile à évaluer lors du visionnement de l'inspection télévisée à cause de la distorsion de l'image; il est possible d'avoir recours à un gabarit. On doit cependant se rappeler que les conduites en brique n'ont peut-être pas été construites selon une forme régulière ou ont pu subir des déformations initiales à la suite du remblayage.

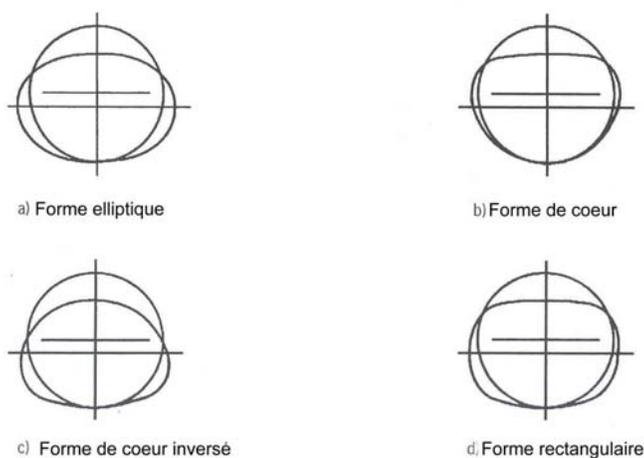


Figure 22 – Schéma des différents types de déformation d'une conduite circulaire⁹

Causes possibles

On retrouve deux situations pouvant expliquer les déformations de conduites :

- 1) À la mise en place : mauvais calculs des charges statiques, conduite défectueuse, pose de conduite inappropriée, mauvaise estimation des charges et des conditions de support, mauvaise assise ou enrobage, mauvaise compaction, effet de la température;
- 2) À la suite de fuites ou d'infiltrations, de l'usure mécanique ou de la corrosion.

Conséquences

Les conséquences de la déformation sont nombreuses :

- réduction de la capacité hydraulique;

⁹ Tiré et traduit de Rehabilitation and maintenance of Drains and Sewers, Stein, 2001.

- blocage;
- augmentation des besoins en entretien;
- danger de fissuration ou de renflement pour les très grandes déformations;
- infiltration/exfiltration;
- fracture;
- bris;
- effondrement.

Chaque déformation, par rapport à la forme originale, représente une perte d'efficacité de la conduite. Dans le cas où il y a renflement, la fonctionnalité de la conduite peut être mise en cause.

Les déformations attribuables à la présence de roches dans l'assise ou dans l'enrobage, par exemple, peuvent amener à la création de trous ou de fractures et avoir de graves conséquences (effondrement de conduite).

Mesures correctrices

On devra, dans la majorité des cas, procéder à une excavation pour corriger la situation. Toutefois, lorsque la déformation est inférieure à 10 %, on pourra procéder à une intervention par chemisage. Dans ce cas, les paramètres de conception devront tenir compte de cette déformation.

2.2.5 Déviations en raison des joints décalés/ouverts/en angle

Dans le cadre de cet ouvrage, nous regroupons sous le terme « déviation » tous les changements de direction de la conduite sur les plans vertical, horizontal ou longitudinal qui sont une conséquence de défauts structuraux à la section de conduite tels que des joints décalés ou ouverts. Il est aussi possible que les déviations angulaires aux joints aient été faites intentionnellement lors de la construction afin de permettre de faibles changements de direction.

Symptômes

Des joints à angle, décalés, ouverts ou des coudes sont des indicateurs d'une déviation de la conduite. Des bris aux embouts de sections de conduites, des pentes inverses ou encore des fractures et des bris peuvent être des indicateurs de déviations ponctuelles de sections de conduites.

Causes possibles

Les causes possibles sont :

- une mauvaise planification ou exécution des travaux;
- un manque d'étanchéité;
- des changements dans les charges appliquées;
- le résultat de l'infiltration/exfiltration;
- des tassements;
- des tassements différentiels entre la conduite et les regards (une charge de trafic sur le regard, des charges variables sur la surface, une mauvaise estimation du niveau de la nappe).

Conséquences

Les conséquences des déviations dépendent du type de conduite, flexible ou rigide, du système sol/conduite et du type de joint.

Les déviations occasionnent une augmentation des besoins en entretien, des difficultés voire l'impossibilité d'ausculter et d'inspecter ces conduites. De plus, elles peuvent occasionner des bris de tuyaux, des pentes inverses et une perte de fonctionnalité.

Mesures correctrices

Selon l'ampleur de la déficience, on pourra effectuer une intervention ponctuelle par excavation ou sans tranchée. Si la déviation horizontale, verticale ou longitudinale laisse entrevoir le sol, provoque des problématiques d'entretien ou une réduction du diamètre supérieure à 10 %, une intervention par excavation sera alors la seule avenue possible.

2.2.6 Défauts de surface

Les défauts de surface sont des altérations du revêtement intérieur de la conduite. Ces défauts peuvent être une usure de la surface, la disparition d'un éclat de la paroi ou encore la désagrégation du matériau de la conduite.

Symptômes

On pourra observer que la surface intérieure de la conduite est usée. Par ailleurs, des éclats de matériau peuvent être disparus.

Causes

L'usure peut être causée par l'effet abrasif de matières solides présentes dans les effluents, ou encore lorsque la pente de la conduite induit des vitesses importantes de l'effluent. Une autre cause peut être l'effet corrosif de l'effluent lui-même ou la présence de gaz corrosifs comme le H₂S.

D'autres formes d'usure peuvent être causées par des outils de nettoyage ou de raclage, ou encore être la conséquence de mauvaises manipulations lors du transport, de l'entreposage ou de la mise en place.

Conséquences

Les défauts de surface causent une augmentation de la rugosité et une éventuelle diminution de l'épaisseur de la paroi. Dans le cas de la corrosion causée par des gaz ou des liquides corrosifs, il y a une perte d'intégrité structurale grave pouvant entraîner l'effondrement de la conduite.

De plus, les usures au radier peuvent entraîner la disparition du radier et causer de l'exfiltration, ce qui peut entraîner des risques à l'environnement (contamination de la nappe phréatique).

Mesures correctrices

Pour contrer les effets agressifs de l'effluent, il est possible d'ajouter des produits neutralisants. Les autres interventions possibles sont des modifications aux conditions d'écoulement ou la réhabilitation sans tranchée de la section endommagée. Il est important de rappeler que les règlements municipaux régissent la nature des produits qui peuvent être déversés dans les réseaux d'égouts et que la présence d'effluents agressifs est inhabituelle.

2.2.7 Perte de support latéral / affaissement de radier (bas-fond) / briques manquantes (conduites en brique uniquement)

2.2.7.1 PERTE DE SUPPORT LATÉRAL

La perte de support latéral est une conséquence d'un défaut mineur initial tel un joint de mortier faible ou une perte de mortier au joint. Les schémas qui sont présentés ci-après illustrent le mécanisme de perte de support latéral.

Symptômes

Les défauts visibles sont du mortier manquant, une fracture visible et de l'infiltration si la couronne de la conduite est située au niveau de la nappe phréatique. Lorsqu'il y a perte de support effective, une déformation de la conduite en forme de cœur est visible.

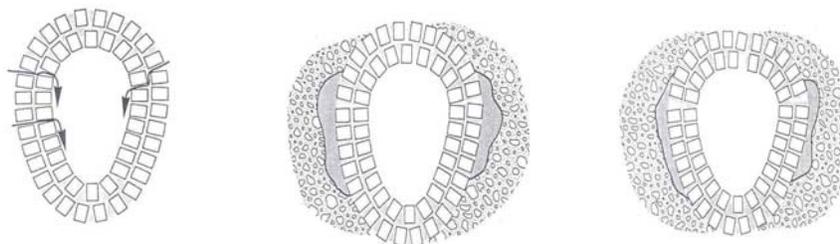


Figure 23 – Illustration des trois étapes de la perte de support latéral¹⁰ pour une conduite en brique

Causes possibles

L'érosion du mortier, l'infiltration d'eau souterraine ou des cycles d'infiltration/exfiltration attribuables au régime hydraulique dans la conduite d'éégout font partie des causes de la perte de support latéral. Les zones de sol ramolli, formées de chaque côté des parois de la conduite, permettent à l'éégout de bouger latéralement, causant l'affaissement de la couronne.

Conséquences

Selon le niveau de relaxation du sol entourant la paroi, cette dernière se déplacera jusqu'à se déformer en forme de cœur. Rendu à ce stade de déformation, il y a un risque important d'effondrement.

Mesures correctrices

Il est possible de procéder à des réparations ponctuelles par excavation. Selon l'étendue de la déformation, une réhabilitation ou une reconstruction pourrait être nécessaire.

Dans le cas d'une intervention sans excavation, des interventions pourraient être requises pour redonner à la conduite sa forme originale avant de procéder à la réparation de la structure.

¹⁰ Tiré et traduit de Sewerage Rehabilitation Manual (SRH) du Water Research Centre, 1986.

2.2.7.2 AFFAISSEMENT DU RADIER

Cette défectuosité consiste en un déplacement vers le bas d'une partie de radier. Il y a exfiltration ou infiltration selon les niveaux respectifs de la nappe phréatique et de l'effluent. Cette infiltration/exfiltration n'est pas nécessairement visible.

Symptômes

Il y a perte de mortier de part et d'autre du radier (4 h et 7 h) et des fissures/fractures sont visibles. Il peut arriver que le sol ou des vides soient visibles. Lorsqu'on arrive à la dernière phase d'aggravation de ce défaut, il peut y avoir une déformation des parois latérales de la conduite. Les figures qui suivent illustrent le mécanisme qui mène à l'affaissement du radier.

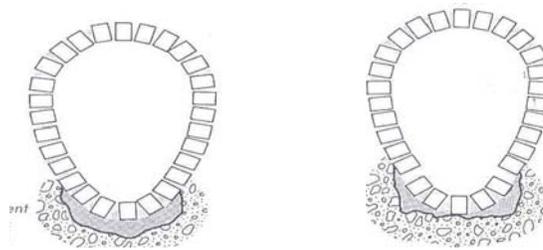


Figure 24 – Chute du radier¹¹

Causes possibles

La détérioration du mortier dans la portion de conduite où circule l'effluent permet à l'eau de s'infiltrer. Avec la circulation de l'eau, il y a une érosion encore plus importante du mortier. Le taux d'infiltration augmente et il y a lessivage des particules fines de l'assise. Ensuite, des vides se forment autour du radier. Puis, une fissure longitudinale se forme près du niveau d'eau.

Conséquences

Il y a perte de support sous l'égout et chute du radier dans les vides créés par le lessivage des particules de sol. L'égout perd son intégrité structurale et les côtés peuvent tomber si le mortier ou la friction ne les retient pas.

Mesures correctrices

Selon la gravité du défaut, une réhabilitation est possible. Sinon, on devra procéder à la reconstruction complète de la section de conduite.

¹¹ Tiré et traduit de Sewerage Rehabilitation Manual (SRH) du Water Research Centre, 1986.

2.2.7.3 CHUTE DE BRIQUES À LA COURONNE

La perte de mortier peut entraîner le déplacement des briques et éventuellement leur chute. Il est par contre difficile de déterminer la sévérité de la perte de mortier, car avec certaines méthodes de construction, le mortier peut sembler manquant sur la surface de la paroi, mais il sera tout de même en bon état dans les joints. Les figures qui suivent illustrent les étapes qui mènent à la chute des briques à la couronne.

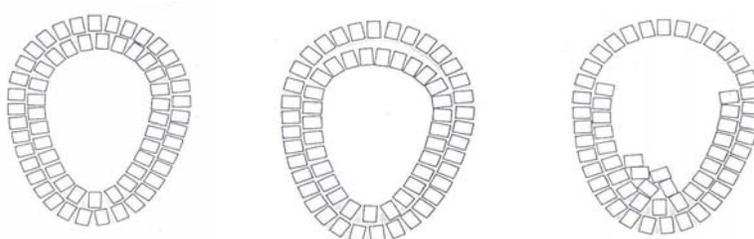


Figure 25 – Perte de briques à la couronne¹²

Symptômes

Il est possible d'observer une perte de mortier entre les briques, le rapprochement des briques formant l'anneau intérieur, la séparation des briques de la couronne intérieure de celles de l'anneau extérieur. Ultimement, les défauts visibles sont des briques manquantes à la couronne et des briques qui se retrouvent dans le radier.

Causes possibles

Le mortier s'érode ou est attaqué chimiquement et le défaut visible est une perte de mortier. La perte de mortier entre les briques permet à ces dernières de se rapprocher, fermant l'anneau intérieur et permettant à la couronne intérieure de se séparer du deuxième rang de briques. Les défauts visibles sont une perte de mortier totale et une déformation de la couronne.

Conséquences

Les pertes de mortier peuvent permettre l'exfiltration/infiltration et le lessivage des particules dans l'égout. Il y a perte de résistance en compression du rang de briques intérieur. Ceci a pour résultat une perte de support et, ultimement, la déformation et l'effondrement.

¹² Tiré et traduit de Sewerage Rehabilitation Manual (SRH) du Water Research Centre, 1986.

Mesures correctrices

Les interventions possibles sont des réparations ponctuelles avec ou sans excavation. Selon l'étendue des défauts, il peut être nécessaire de réhabiliter ou de remplacer la section complète.

2.2.8 Raccordements défectueux (tout type de conduites)

Les raccordements aux conduites rigides peuvent avoir été faits à l'aide de pièces préfabriquées, à l'aide d'une sellette ou encore à la masse. Cette dernière méthode pour effectuer un raccordement est la principale source de défauts rencontrés sur les raccordements, ainsi qu'à la conduite principale au niveau de ces derniers. Même s'ils ne sont pas des raccordements défectueux, les raccordements pénétrants sont traités dans cette section.

Symptômes

Les principales observations pour les raccordements défectueux sont les fissures, les fractures et les trous se trouvant à proximité des raccordements.

Causes

La principale cause de défauts est une méthode de construction inadéquate. Par ailleurs, un manque d'étanchéité à la connexion du raccordement et de la conduite principale entraîne le lessivage du sol et un déplacement de l'une ou l'autre de ces portions de conduites. Ce déplacement crée des tensions dans les sections de conduites qui peuvent se fissurer.

Une mauvaise compaction sous la conduite de raccordement peut entraîner des tassements différentiels, causant aussi la fissuration de sections de conduites.

Conséquences

Un dommage à la conduite principale peut être une conséquence de la mise en place d'un raccordement. Ce dommage induit un risque de détérioration future de la conduite et du raccordement. L'infiltration, le lessivage du sol environnant, le tassement différentiel et l'effondrement localisé sont autant de conséquences possibles d'un raccordement mal exécuté.

Un raccordement mal exécuté peut être la cause d'une surcharge, du lessivage du sol encaissant, d'un blocage ou d'une diminution de la capacité hydraulique.

Dans le cas d'un raccordement pénétrant et selon l'ampleur de cette obstruction, la diminution de l'aire d'écoulement pourra provoquer des refoulements, occasionner des blocages ou empêcher l'inspection télévisée complète d'une section.

Mesures correctrices

Les interventions à effectuer dépendent de la nature des défauts. Dans le cas des raccordements pénétrants, il est possible de les aléser. Le colmatage permet de corriger les raccordements qui ne sont pas étanches. Dans le cas de défauts structuraux, la réhabilitation sans excavation ou le remplacement avec excavation sont des avenues possibles.

3 FACTEURS INFLUENÇANT LE TAUX DE DÉGRADATION DE L'ÉTAT DES CONDUITES

Le présent chapitre permettra au lecteur de se familiariser avec les facteurs influençant le taux de dégradation de l'état d'une conduite. Sachant que les déficiences discutées dans cet ouvrage pourront se manifester par des symptômes fonctionnels ou structuraux, les gestionnaires auront avantage à connaître les causes à l'origine de cette détérioration, pour poser un bon diagnostic et intervenir de la façon la plus judicieuse possible afin de prolonger la durée de vie de l'infrastructure.

Ce chapitre discute donc de l'entretien, de la nature des matériaux constituant la conduite, des méthodes de construction, de la durée ou du nombre de cycles de stress appliqués au système sol/conduite, ou encore des influences externes sur la stabilité de la conduite, comme des fuites d'eau potable ou des excavations à proximité.

3.1 ACTIVITÉS HUMAINES EN SURFACE OU SUR DES INFRASTRUCTURES À PROXIMITÉ

Lors de la reconstruction d'une chaussée, les vibrations attribuables à la circulation de la machinerie et aux activités de compactage peuvent augmenter les charges vives sur les conduites. De même, lors de ces interventions, le détournement du trafic, sur des tronçons de rues qui ne seraient pas conçus pour supporter la charge supplémentaire qui y serait appliquée, pourrait favoriser une accélération du processus de détérioration de l'égout.

D'autre part, lors des interventions en tranchée sur la conduite ou à proximité de celle-ci, il y a perturbation du sol et risque subséquent de tassement différentiel.

Enfin, le passage des autobus sur des rues qui n'ont pas été conçues à l'origine pour supporter leur poids est un autre exemple de circonstances qui augmentent le risque de détérioration de l'égout.

3.2 CHANGEMENT D'AFFECTATION DU SOL

Lorsqu'un changement d'affectation du sol est planifié, une étude d'impact doit être envisagée afin d'en valider les incidences sur la pérennité de l'égout.

En effet, si un secteur résidentiel passe de faible à forte densité ou passe d'une vocation résidentielle à une vocation commerciale, on pourra noter une

augmentation des charges vives au-dessus de la conduite (circulation, charge de trafic, circuits d'autobus, etc.) et des charges hydrauliques ainsi qu'un changement dans les caractéristiques de l'effluent.

Lors d'un élargissement de la chaussée, il pourra y avoir augmentation des charges verticales au-dessus de la conduite, dans le cas où cette dernière ne se trouvait pas sous la chaussée à l'origine.

Enfin, si les conditions de remblai au-dessus de la conduite doivent être modifiées, il pourrait y avoir augmentation des charges verticales au-dessus de la conduite.

3.3 NATURE DES EFFLUENTS

Les égouts domestiques contiennent des composants qui peuvent attaquer chimiquement les conduites (H_2S , H_2SO_4 , ions chlorure et sulfates). Les attaques « internes » de la paroi par les acides peuvent être causées par la présence de sulfure d'hydrogène (H_2S) dans les égouts qui, une fois sous forme gazeuse, peut être transformé en acide sulfurique (H_2SO_4) en se déposant sur la paroi de la conduite qui n'est pas submergée. Ces attaques chimiques peuvent aussi être causées par la présence d'acides dans l'effluent lui-même, bien que la réglementation prohibe ce type de produits dans les égouts. Dans le cas d'un déversement d'acide à l'égout, c'est le radier qui en serait affecté (la partie de la conduite en contact direct avec l'effluent).

Les égouts unitaires transportent, en plus de la matière organique, des particules grossières comme les sables fins à grossiers et de petites pierres qui peuvent causer de l'abrasion. Les conduites de PVC et de grès présentent une bonne résistance aux agents chimiques et résistent mieux à l'abrasion que celles en béton.



Figure 26 – Exemple d'abrasion du radier d'une conduite
(Source Stein, D., 2001)



Figure 27 – Exemple de corrosion par une attaque au H_2S

3.4 TYPES DE SOL

La composition du sol peut avoir une influence sur l'état de la surface extérieure de la conduite. Par exemple, dans le cas des conduites de béton, lorsque la nappe phréatique se situe au-dessus du radier de la conduite, les sulfates contenus dans certains types de sol peuvent attaquer le béton jusqu'à le réduire à un état friable et mou. La réaction des sulfates avec certains constituants crée un produit expansif qui peut détruire le béton. La conduite perd alors sa capacité à supporter les charges et une défaillance peut se produire. Les conduites d'amiante-ciment sont aussi sujettes à ce type de détérioration. Ce processus chimique se reconnaît par la présence de petits trous (pin holes) sur la paroi extérieure de la conduite. Les problèmes de sulfate se retrouvent dans les régions du nord de l'Amérique, là où il y a des sols alcalins.

Les chlorures utilisés en hiver migrent de la surface à travers la structure de la chaussée et peuvent agir sur la propriété de passivation du béton. Cette dernière est réduite et cela entraîne la corrosion de l'acier d'armature en présence d'oxygène. Ce phénomène se retrouve rarement dans les conduites d'égout, compte tenu de leur profondeur.

La nature du sol est un élément très important pour comprendre et évaluer la gravité de l'état structural d'une conduite, car la « stabilité » d'une conduite détériorée ou fissurée dépend du support fourni par le sol environnant. Les conduites rigides (béton et grès) ont une capacité structurale propre qui leur permet de résister aux charges verticales, sans compter sur le support latéral du sol lorsque leur résistance structurale n'est pas affectée. Ce n'est pas le cas des conduites en brique et des conduites flexibles.

Lorsque les sols d'enrobage d'une conduite sont raides et/ou compacts, ils peuvent contribuer à reprendre les efforts auxquels la conduite est soumise et en limiter la déformation dans le cas des conduites flexibles. Cependant, si le sol enrobant de la conduite est lâche, la capacité de ce dernier à fournir un support et à empêcher la déformation de la conduite est faible.

3.4.1 Sols non cohésifs (silt, sable et gravier)

Lorsqu'il y a infiltration (sans surcharge hydraulique) dans les sols silteux et sableux, il y a un risque élevé de lessivage en présence de défauts sévères. Seuls les sols bien

gradués (sable et gravier grossiers) auront une sensibilité très faible au lessivage dans ce dernier cas. En présence de défauts mineurs, les sols bien gradués seront résistants au lessivage. Par contre, tous les sols silteux et/ou sableux sans gravier seront sensibles au lessivage, même en présence de défauts mineurs.

Lorsqu'il y a surcharge hydraulique, tous les sols non cohésifs seront très susceptibles au lessivage à travers des défauts, même mineurs. Le tableau 1 présente le risque de lessivage associé au type de sol enrobant la conduite.

Tableau 1 – Risque de lessivage vs types de sol

Types de sol		Risque de lessivage
Silts, sables fins silteux, sables fins Sables médium à grossiers		Élevé ↓ Faible
Argiles faible plasticité Graviers fins à médium Graviers sableux bien gradués		
Argiles de plasticité médium à haute Toutes les argiles si construction en tunnel		

3.4.2 Sols cohésifs (argiles)

Lorsqu'il y a infiltration et que le sol de remblai est une argile, il y a risque de migration des particules à travers des défauts sévères et importants, qu'il y ait surcharge ou non.

Dans le cas où l'argile contient des particules grossières (comme cela peut être le cas de plusieurs tills glaciaires), le risque de migration de particules provenant du sol enrobant la conduite est plus élevé. Les argiles non remaniées, même si leur plasticité est faible, seront moins à risque pour le lessivage. Ainsi, les égouts construits en tunnel dans l'argile sont très peu susceptibles de subir le lessivage de particules puisque le sol environnant est « vierge ».

3.5 IMPORTANCE DU DÉFAUT

La gravité des défauts que l'on retrouve sur les conduites influence la formation et la progression de la formation des vides autour des conduites. Si l'assise est composée de matériaux granulaires, par exemple, et qu'il y a des défauts sévères au niveau du radier, l'assise peut devenir le canal préférentiel d'écoulement de l'effluent.

3.5.1 Défauts sévères

Des défauts sévères tels que des trous, des briques manquantes ou des branchements défectueux constituent un risque maximum de migration des particules de sol à l'intérieur de la conduite, peu importe la nature du sol. Dans le cas des sols granulaires (silts, sables et graviers), la migration des particules peut être très importante. Dans le cas des argiles de faible plasticité, la migration des particules peut être notable. Même les argiles de haute plasticité ne pourraient empêcher la migration des particules de sol à travers des défauts importants.

3.5.2 Défauts mineurs

Des défauts moins importants tels que des fissures ou des joints décalés ou légèrement ouverts présentent des risques moins élevés de migration de particules de sol enrobant. Cependant, le régime hydraulique extérieur et/ou intérieur peut être un facteur aggravant. Comme déjà discuté, c'est la circulation de l'eau à travers un défaut qui cause le lessivage; ainsi, lorsque le défaut est mineur, la présence d'infiltration/exfiltration entraîne une aggravation de la situation (voir les figures 5 et 6).

Le tableau 2 illustre l'effet de l'importance des défauts sur le lessivage des particules.

Tableau 2 – Risque de migration de particules de sol vs l'importance du défaut
(Source WRc)

Importance du défaut	Niveau de risque
Sévère > 10 mm	Élevé
Important = 5 – 10 mm	↓
Moyen = 2 – 5 mm	↓
Mineur = 0 – 2 mm	Faible

3.6 SURCHARGE HYDRAULIQUE

La variation du débit de l'effluent dans l'égout se traduit par des variations du niveau d'eau à l'intérieur de la conduite. Ces variations causent des cycles d'infiltration/exfiltration d'eau à travers les défauts et ont le même effet qu'une pompe. Les particules de sol sont « aspirées », augmentant de ce fait le taux de lessivage dans la plupart des types de sol. L'enrobage d'une conduite subissant ces cycles de surcharge sera affecté sur l'ensemble de son pourtour, incluant son assise.

Le tableau 3 présente les niveaux de risque de lessivage du sol, associés aux conditions hydrauliques. On peut noter que la fréquence des surcharges (effet de pompe cité plus haut) a plus de conséquences néfastes que l'amplitude de ces surcharges.

Les cycles de surcharges hydrauliques ont un effet de pompe plus important sur les particules de sol entourant la conduite lorsque la nappe phréatique se situe au-dessus de la couronne de la conduite.

Les surcharges hydrauliques créent une pression interne excessive à laquelle le système sol/conduite ne peut résister, s'il y a eu lessivage et création de zones lâches autour de la conduite. Il y a alors risque d'éclatement de la conduite, suivi de son effondrement. Plus les surcharges hydrauliques sont fréquentes, plus les risques sont élevés.

Tableau 3 – Risque de lessivage vs les conditions hydrauliques
(Source : WRC)

Conditions hydrauliques	Risque de lessivage du sol enrobage
Nappe phréatique	
– Au-dessus de la conduite	Élevé
– Près de la conduite	↓
– Sous le radier de la conduite	Faible
Surcharges hydrauliques	
– Fréquentes – haute amplitude	Élevé
– Fréquentes – faible amplitude	↓
– Occasionnelles – haute amplitude	↓
– Occasionnelles – faible amplitude	↓
– Inexistante	Faible

3.7 FORMATION DES VIDES

Lorsqu'il y a un trou dans une conduite, que ce soit des sections de briques manquantes ou un morceau de tuyau préfabriqué qui est disparu, il n'y a plus de « retenue » ou de support pour le sol encaissant. Ce sol peut alors se déplacer et pénétrer dans la conduite. Il y a création d'un vide autour de la conduite. Ce vide entraîne un relâchement du sol et éventuellement le lessivage, s'il y a circulation d'eau. Dans le cas des égouts situés à proximité des conduites d'eau potable, les fuites d'eau potable peuvent être la source de la création de vides importants.



Figure 28 – Illustration d'un vide important dans le cas d'une conduite en brique

La figure 28 illustre, de façon éloquent, le phénomène de la création d'un vide dans une conduite. Cette conduite en brique, dont l'inspection télévisée (CCTV) réalisée en 1990 montrait des déficiences (fractures longitudinales et briques manquantes avec vide visible), a créé bien des soucis lors de la nouvelle inspection télévisée effectuée en 1995, dans le but d'effectuer des travaux de réhabilitation par chemisage. Les déficiences notées en 1990 s'étaient aggravées au point de devenir une énorme caverne de 1,5 m de large et de 7,5 m de long. La présence de ce vide majeur induisait un risque très élevé d'effondrement de la chaussée.

Les vides peuvent demeurer stables dans certaines conditions. Mais lorsqu'un vide est situé dans un sol cohésif et au-dessus du niveau de la nappe phréatique, une surcharge hydraulique peut causer un relâchement progressif du sol, entraînant une perte de sol qui, à son tour, augmentera le volume du vide. Lorsque le vide est sous le niveau de la nappe, il agit comme chemin de drainage, l'eau qui circule amollit le sol et l'érode, causant aussi une augmentation du vide.

Dans les deux cas (vide au-dessus ou au-dessous du niveau de la nappe), le sol peut s'effondrer dans le vide créé et migrer dans la conduite par un défaut, laissant une zone de sol lâche autour de la section de conduite.

Les trois (3) schémas de la figure 29 illustrent ce processus.

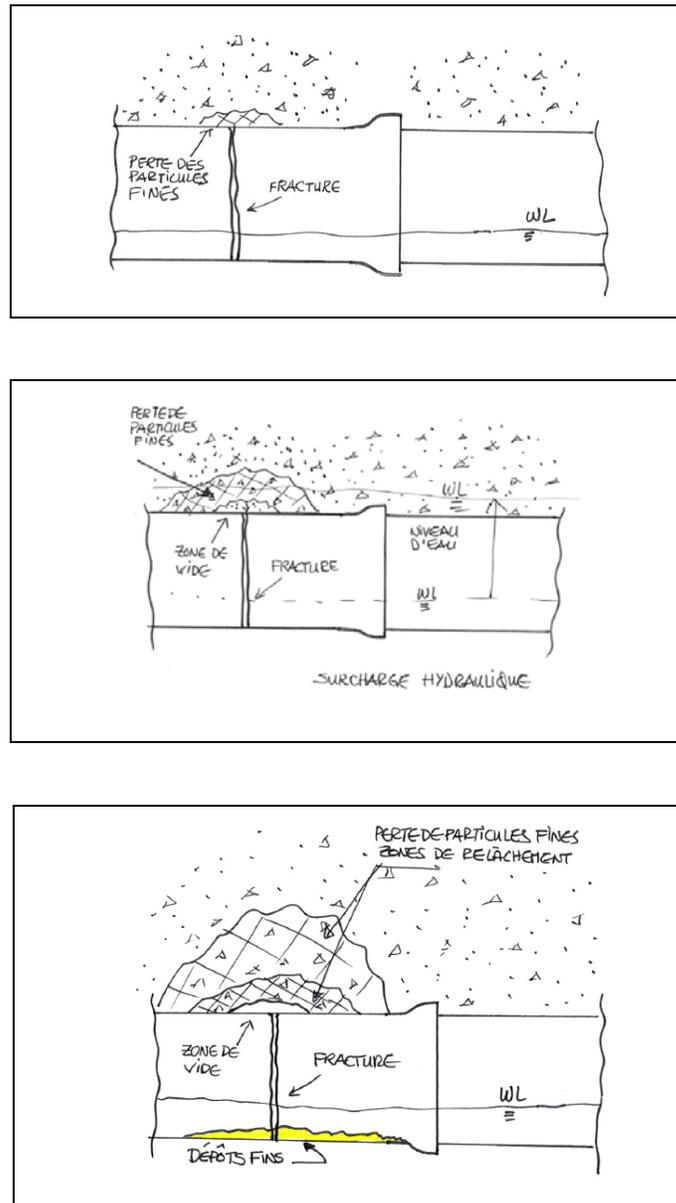


Figure 29 – Illustration de la création du vide par la fluctuation du niveau d'eau dans la conduite

Finalement, tout vide ou toute zone de relâchement autour de la conduite aggrave son état structural et accélère le processus d'effondrement.

4 DIAGNOSTICS

Pourquoi évaluer, diagnostiquer et planifier les interventions sur les réseaux? La réponse comporte trois éléments principaux : d'abord, pour optimiser les investissements étant donné que les ressources sont limitées et que les besoins sont très grands; ensuite, pour éviter des bris et des effondrements catastrophiques ainsi que les coûts et inconvénients qui y sont associés; et finalement, dans une perspective plus politique, pour éviter la mauvaise publicité et la perte de confiance des usagers envers les gestionnaires et les infrastructures.

L'expérience actuelle nous fournit des exemples démontrant que l'argent investi dans la connaissance de l'état des réseaux d'égouts permet de mieux cibler les interventions et de les prioriser. Ce chapitre présente les outils d'auscultation les plus couramment utilisés au Québec pour poser un diagnostic sur l'état structural des conduites d'égout et un diagnostic fonctionnel préliminaire.

Diagnostic fonctionnel

Un diagnostic fonctionnel préliminaire peut être posé à partir de l'inspection télévisée. L'observation de plusieurs défauts présents dans la section de conduite, tels que de l'infiltration et des obstructions, permet d'associer une cause à des problèmes ponctuels de capacité hydraulique insuffisante.

Cependant, dans le cas où les causes de refoulement ne sont pas attribuables à des défauts physiques (dépôts, bas-fonds, obstructions, etc.), le recours à des modèles hydrauliques peut être nécessaire pour analyser le réseau d'égouts. Une liste importante de données est requise pour utiliser les modèles d'analyse hydraulique :

- diamètre;
- longueur;
- pente ou gradient hydraulique;
- niveau du radier et du couvert en surface;
- coefficient de rugosité;
- nombre de regards intermédiaires;
- débit par temps sec (sanitaire);
- région de drainage complète (cas des égouts unitaires);
- pourcentage de surfaces imperméables;
- structures de captage des eaux pluviales;
- futurs développements prévus au plan d'urbanisme qui seront raccordés au réseau.

L'utilisation de ces modèles fournit alors des résultats identifiant les conduites en surcharge et les secteurs de refoulements ainsi que leur localisation. Ces modèles peuvent aussi prédire les quantités d'eaux usées déversées en cas de débordement au milieu récepteur par les trop-pleins si les égouts sont unitaires.

Le volet fonctionnel ne sera pas davantage développé dans le cadre de ce manuel.

Diagnostic structural

Une étude des défauts structuraux observés dans la conduite, combinée à la connaissance de la nature du sol encaissant, permet de comprendre les interactions sol/conduite. Cette connaissance de l'état de l'enrobage et du remblai directement en contact avec les éléments du réseau est essentielle pour comprendre les mécanismes de dégradation structurale et identifier les solutions de réhabilitation.

Les défauts constatés sur les réseaux sont souvent causés par des actions du sol environnant pouvant conduire à des déplacements et à des efforts de flexion ou de compression. Les principaux mécanismes qui peuvent intervenir sont les glissements de terrain, les affaissements et les effondrements, l'entraînement hydrodynamique des matériaux fins, les tassements et le gonflement ou le retrait des argiles raides.

Il est donc utile de tenter de déceler les situations suivantes découlant de l'action des mécanismes précités, en ayant recours à des programmes d'auscultation ciblée : la détection des vides, les zones d'affaissement et les zones décomprimées, l'évaluation du niveau de la nappe phréatique et de ses variations.

Bien que ces données soient difficiles à recueillir puisque peu d'outils sont disponibles, « on doit traiter chaque contact avec les réseaux comme une occasion de saisir des données utiles ».¹³

4.1 OUTILS ET TECHNIQUES D'AUSCULTATION

Les outils d'auscultation sont regroupés en quatre catégories¹⁴ qui tiennent compte de leur principe de fonctionnement : géophysique, géométrique, mécanique et

¹³ InfraGuide, Innovation et règles de l'art, Eaux pluviales et eaux usées – Indicateurs et points de référence, décembre 2002.

¹⁴ Classeur des infrastructures souterraines, CERIU, 2002.

visuelle. Ces différentes techniques peuvent être mises en œuvre à partir de la surface ou à partir de l'intérieur de la conduite.

Ces techniques d'auscultation permettent de recueillir des données qualitatives ou quantitatives qui servent à évaluer l'état de la conduite ou à apprécier les propriétés du sol qui auront un impact sur la durée de vie des matériaux. Certaines des informations recueillies pourront aussi fournir des indices sur les conditions du sol d'enrobage et l'éventuelle présence de vides.

Les techniques présentées dans les paragraphes qui suivent sont les techniques les plus utilisées au Québec. Le document « Les classeurs du CERIU - Infrastructures souterraines », publié par le CERIU, peut être consulté pour en apprendre davantage sur les techniques discutées et sur les autres techniques.

4.1.1 Méthodes géophysiques

Les techniques géophysiques permettent de détecter les anomalies contenues dans le sol autour des conduites.

A) OUTILS DE LOCALISATION DE LA CONDUITE

La localisation des conduites peut être une tâche très ardue si aucune information n'est disponible sur l'emplacement des conduites. Lors de la réalisation de travaux, les risques d'endommager les conduites à proximité sont grands et les coûts associés à une réparation éventuelle sont souvent élevés. L'utilisation d'un appareil émettant un champ magnétique permet de localiser et de suivre le tracé emprunté par

la conduite, peu importe le matériau de fabrication et le diamètre de celle-ci. Pour une conduite fabriquée d'un matériau non conducteur, il est préférable d'insérer une sonde ou un fil traceur à l'intérieur. Il est possible de localiser des conduites jusqu'à une profondeur de quinze mètres.



Figure 30 – Appareil permettant la localisation de conduite

B) GÉORADAR

Le radar ou géoradar est une technique non destructive, dont le principe de fonctionnement est l'émission d'impulsions électromagnétiques à hautes fréquences, dirigées vers la surface du sol par une antenne émettrice. Simultanément, une antenne réceptrice capte les réflexions provenant des diverses interfaces dans le sol, incluant la ou les conduites qui s'y trouvent. Les signaux radar ainsi reçus sont enregistrés. La signature électromagnétique typique de chaque sol et/ou objet permet d'en préciser la nature et ainsi de localiser la conduite.

Cette technique permet d'obtenir de meilleures résolutions verticale et horizontale, comparativement aux autres méthodes géophysiques. Verticalement, la résolution est fonction de la fréquence de l'antenne et se situe entre quelques centimètres et un mètre. Horizontalement, la résolution dépend de la distance entre les points de mesure et de la vitesse d'échantillonnage.

La profondeur de lecture peut atteindre 30 mètres dans les sols où la conductivité est très élevée. Les mesures sont grandement influencées par la présence d'argile ou de fluide hautement conducteur, de même que par les objets métalliques qui se trouvent dans le sol. Par conséquent, la performance de cette technique dépend du sol étudié. La profondeur de mesure peut être limitée à moins d'un mètre dans les sols argileux.

Les mesures avec le géoradar sont relativement faciles à effectuer. L'antenne peut être déplacée à la main ou par un véhicule.

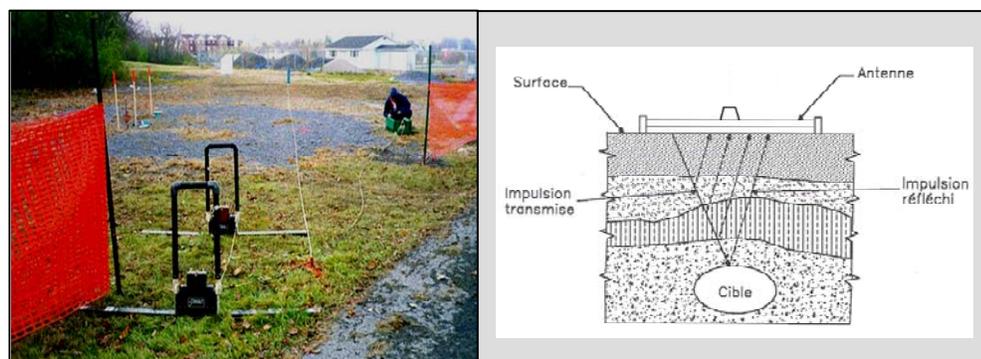


Figure 31 – Illustration de l'utilisation d'une antenne pour procéder à l'auscultation à l'aide d'un radar

4.1.2 Méthodes géométriques

Les techniques géométriques permettent de mesurer les paramètres physiques d'une conduite dont la déformation, les profils linéaires et longitudinaux.

A) INCLINOMÈTRE

Jumelé à l'inspection télévisée, l'inclinomètre permet de tracer le profil longitudinal de la conduite et de définir la pente de cette dernière. Il peut être utilisé dans les conduites à partir de 150 mm de diamètre.

Le profil est généré par des mesures en continu ou point par point entre deux regards, grâce à un capteur d'inclinaison fixé sur la caméra.

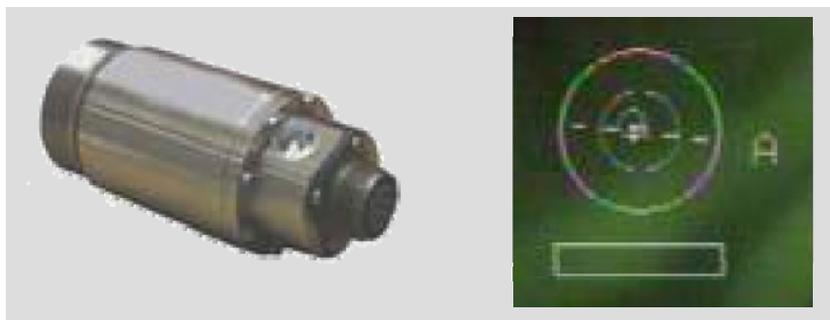


Figure 32 – Inclinomètre et image type lors d'un visionnement

L'intérêt de cet outil réside dans le fait qu'il permet de définir les variations de pentes le long de la conduite, entre le radier amont et le radier aval. Ces informations aident à comprendre certaines problématiques d'écoulement.

B) CAPTEUR D'ORIENTATION

Pour bien planifier les interventions sur les infrastructures municipales, il est nécessaire de connaître l'emplacement exact des conduites enfouies dans l'emprise publique. Lorsque cette information est manquante, il est possible d'utiliser le capteur d'orientation pour définir le parcours de la conduite et d'être ainsi en mesure de faire une vue en plan représentant son parcours.

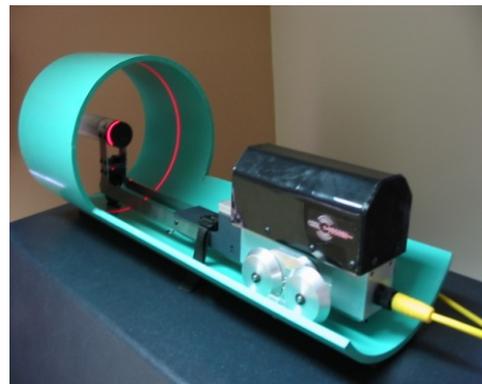


Figure 33 – Exemple d'un profilomètre au laser (Gracieuseté de CoolVision)

C) PROFILOMÈTRE AU LASER

Cette technologie permet notamment d'identifier et d'analyser les déformations d'une conduite, de localiser et de mesurer les défauts de relief sur la paroi interne de la conduite, avant et après réhabilitation. Le profilomètre au laser est une combinaison du laser et de la caméra de télévision conventionnelle. Le profilomètre au laser consiste en une série d'instruments de mesure et d'analyse installés sur un chariot pouvant circuler dans une conduite. Il fait partie des instruments reconnus par le Bureau de normalisation du Québec (norme BNQ 1809-300/2004 rév. 2007) pour mesurer l'ovalisation des conduites flexibles. Les conduites de 100 à 2 400 mm peuvent être auscultées à l'aide du profilomètre. Les matériaux de la conduite n'influencent pas les résultats. Avant d'effectuer une auscultation avec le profilomètre, il est préférable de nettoyer la conduite de manière à maximiser et optimiser la cueillette de données. La caméra utilisée permet de capter et d'enregistrer l'image produite par la projection du plan laser. Un profil tridimensionnel complet de la conduite auscultée est produit à partir des données recueillies par le profilomètre au laser ainsi que d'un logiciel d'analyse.

Une analyse de l'état général de la conduite est ensuite effectuée et les segments problématiques peuvent être ciblés, incluant tout changement de diamètre ou phénomène d'ovalisation.

D) GABARIT

Le gabarit est un appareil permettant de confirmer que la déformation de la conduite ne dépasse pas le seuil pour lequel il est calibré. Il s'agit d'un appareil reconnu par le Bureau de normalisation du Québec (norme BNQ 1809-300/2004 rév. 2007) pour vérifier l'ovalisation dans les conduites.

Cet outil est généralement utilisé lors de la réception provisoire et de la réception définitive de travaux d'installation de nouvelles conduites.

Cet appareil permet d'obtenir un verdict « go - no go » par rapport à un pourcentage maximal de déformation. Par conséquent, cet appareil ne permet pas une mesure de la déformation.

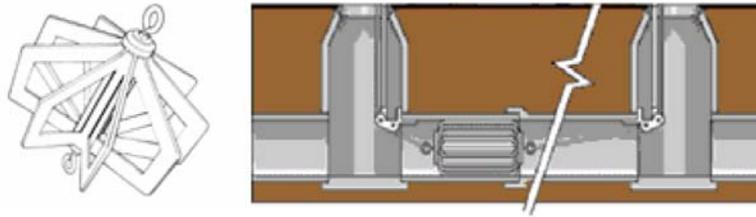


Figure 34 – Gabarit

4.1.3 Méthodes mécaniques

Les méthodes mécaniques permettent des investigations non destructives pour l'évaluation d'un ouvrage à l'aide d'appareillages divers.

A) RECHERCHE DES EAUX D'INFILTRATION ET DE CAPTAGE (I/C)

Les campagnes de réduction des eaux d'infiltration (I) et de captage (C) comportent de nombreux bénéfices, tant au point de vue hydraulique (élimination des eaux parasites) que structural, par l'élimination de la circulation de l'eau à travers des défauts structuraux (fissures, fractures, joints non étanches, etc.).

Les interventions qui visent à étancher les conduites (colmatage, gainage ou autre) limitent les risques de migration du sol et de lessivage de l'enrobage de la conduite et arrête les processus de détérioration. Il y a donc stabilisation de l'état de l'égout.

Plusieurs activités et essais sont inclus dans la démarche de recherche des eaux parasites. Le diagramme présenté à la figure 35 illustre la méthodologie à suivre pour développer et réaliser un programme de réduction des eaux parasites.

Plusieurs activités permettent de localiser les sections de conduites où l'infiltration est présente et différents accessoires permettent de quantifier ces débits d'infiltration.

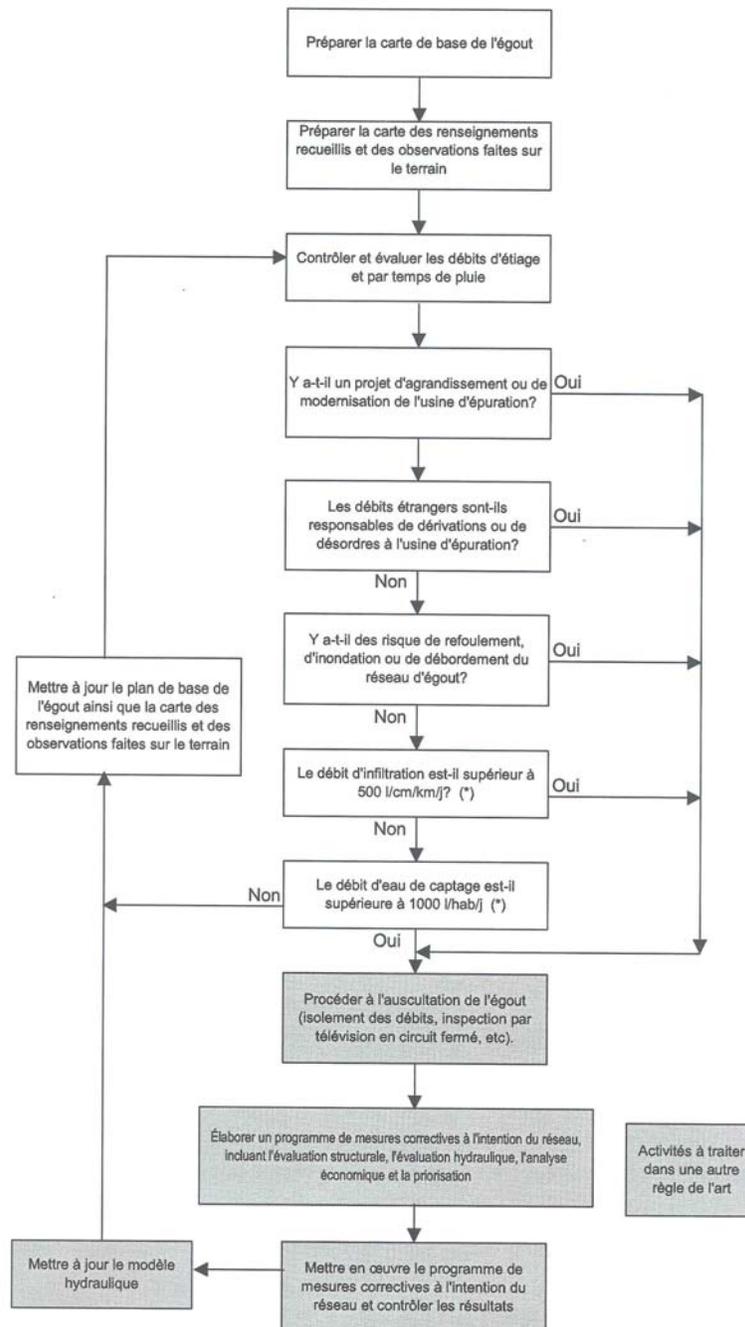


Figure 35 – Diagramme de processus des activités d'un programme de prévention ou de réduction de l'infiltration et de l'eau de captage¹⁵

¹⁵ InfraGuide, Innovation et règles de l'art, Eaux pluviales et eaux usées, # 2– Prévention ou réduction de l'infiltration et de l'eau de captage dans les réseaux collecteurs d'eaux usées – mars 2003.

Les mesures de débit permettent d'identifier les tronçons où l'infiltration est suffisante pour envisager des mesures correctives appropriées. Elles sont aussi utiles pour déceler des fuites d'eau potable qui pourraient contribuer à l'augmentation des débits d'eaux parasites.

Calcul de l'infiltration à partir du débit de nuit

En comparant le débit de nuit évalué théoriquement au débit de nuit réel mesuré, on obtient un aperçu du volume des eaux d'infiltration et de captage, selon que l'on procède à ces évaluations respectivement par temps sec ou en période de pluie.

Évaluation du débit de nuit pour un tronçon donné

Il est possible de quantifier l'infiltration présente sur un tronçon à un moment donné, en isolant ce tronçon du reste du réseau à l'aide de bouchons temporaires (ballons pneumatiques) installés dans le regard amont. Le débit est ensuite mesuré dans le regard aval.

ACCESSOIRES UTILISÉS POUR LES MESURES DE DÉBIT

- Le déversoir temporaire est installé dans un regard et un appareil à ultrasons transmet à un enregistreur la variation du niveau d'eau en amont du déversoir. Une conversion est ensuite effectuée à l'aide de la courbe de tarage du déversoir pour déduire le débit.
- Un micromoulinet permet d'obtenir une ou des lectures de vitesse; le débit peut être déduit par la méthode aire-vitesse.
- Une sonde électronique est un appareil du type combiné (à ultrasons et piézométrique) qui permet l'acquisition rapide et fiable de données (débits et profondeurs).
- Un traceur (lithium) de concentration connue est injecté à débit constant en amont d'un tronçon. Par le principe de conservation de la masse, le débit additionnel d'infiltration sur le tronçon peut être déterminé en analysant la concentration d'un échantillon d'eau recueillie en aval.

B) ESSAI DE VÉRINAGE INTERNE (évaluation de la capacité structurale résiduelle et détection des vides)

L'essai de vérinage interne (MAC) est une méthode d'auscultation mécanique des ouvrages et de l'état du sol encaissant. Il s'agit d'un essai non destructif.

L'essai consiste à imposer une contrainte à une conduite à l'aide d'un dispositif inséré à l'intérieur de cette conduite; cette contrainte consiste en deux forces diamétralement opposées. On mesure ensuite la déformation tridimensionnelle résultante. Cet essai permet d'obtenir des renseignements sur l'état mécanique général de la conduite. Les essais de vérinage effectués dans un ouvrage souterrain permettent d'évaluer la capacité mécanique résiduelle des structures. L'exploitation des essais et leur étalonnage par des sondages et des essais permettent de qualifier la qualité des interfaces sol/structure et la détection de zones de vides à l'extérieur de la conduite.



Figure 36 – Exemple d'une auscultation à l'aide de l'essai de vérinage interne

L'appareil permet d'effectuer des mesures directes et objectives de l'intégrité structurale de la conduite et, par conséquent, de détecter des anomalies de comportement de la conduite et de l'interface sol/conduite. Il fournit notamment des informations sur :

- les caractéristiques mécaniques du matériau et spécifiquement les zones de forte altération;
- les variations d'épaisseur de la paroi;
- la qualité mécanique du sol encaissant;
- la gravité des fissures longitudinales.

Les résultats de cet essai donnent une appréciation globale de l'état de dégradation de l'ouvrage et permettent de détecter les vides proches de la conduite.

Compte tenu qu'il est difficile d'estimer la force nécessaire à appliquer sur la paroi afin de ne pas endommager l'ouvrage et que de nombreuses données

sont nécessaires pour calibrer le modèle, il est nécessaire de faire appel à un personnel qualifié pour effectuer ces mesures.

Le développement de cet outil ne permet actuellement que l'auscultation des conduites visitables (circulaires > 1200 mm et ovoïdes > 600 mm x 1200 mm).

Dans des conditions d'opération adéquates, la production moyenne journalière est de 300 à 500 m/jour et le coût approximatif est de l'ordre de 10 \$ du mètre linéaire pour l'essai uniquement. Il faut donc prévoir le coût de production du rapport et les coûts associés au pompage, à la dérivation et au contrôle de la circulation.

Actuellement, cette méthode d'inspection n'est pas disponible au Québec. Toutefois, la Ville de Montréal a procédé à son évaluation et les résultats ont été qualifiés de concluants.

4.1.4 Méthodes visuelles

L'inspection télévisée fait partie des méthodes d'auscultation visuelle. L'auscultation visuelle se fait à l'aide d'une caméra vidéo téléguidée pour les conduites non visitables (diamètres de 1 200 mm et moins) ou portée à l'épaule pour les conduites visitables (1 200 mm et plus). Il existe différents types de caméra pour l'inspection télévisée, associés ou non à d'autres outils :

- la caméra à téléobjectif;
- la caméra de télévision conventionnelle;
- la caméra télescopique;
- le sonar combiné à une caméra d'inspection conventionnelle.

A) INSPECTION PAR CAMÉRA À TÉLÉOBJECTIF

L'inspection réalisée à l'aide de la caméra à téléobjectif permet d'apprécier l'état structural et fonctionnel des sections de conduite d'égout, sans introduction humaine dans les regards et sans dérivation des débits. Cette méthode d'inspection permet de visionner jusqu'à



Figure 37 – Caméra à téléobjectif
Gracieuseté de Aqua-Data

30 mètres de part et d'autre de la section de conduite. Il est possible de poser un diagnostic sommaire de la conduite et d'évaluer les besoins en inspection télévisée conventionnelle et en nettoyage.

L'analyse de l'enregistrement obtenu lors de l'inspection permet de donner un aperçu de la plupart des défauts structuraux dont la déformation de la conduite, l'état des joints à proximité des regards, la présence de raccordements intrusifs, la discontinuité dans le profil ou dans l'alignement de la conduite, la variation du niveau d'eau et la présence d'obstructions. L'utilisation de la caméra à téléobjectif permet donc de cibler rapidement les endroits problématiques. Dans des conditions propices, une inspection de ce type permet d'observer la majorité des anomalies qui se trouvent à moins de 30 mètres des regards.

Cette méthode d'inspection consiste à insérer une caméra fixée à un manche télescopique dans un regard d'accès et à positionner l'objectif dans l'axe de la conduite. Le mat télescopique comprend aussi un module d'éclairage puissant, un système de contrôle à distance et un système d'enregistrement de données informatisé. Le camion de service ou poste de travail possède un écran vidéo, un magnétoscope, un appareil de contrôle du mât et des pièces de rechange. Le camion peut aussi servir pour protéger la zone des travaux.



Figure 38 – Camion d'inspection par caméra à téléobjectif
Gracieuseté de Aqua-Data

Le téléobjectif (« zoom in » successifs) de la caméra permet alors d'obtenir des images claires de l'intérieur de la section, et ce, jusqu'à une distance pouvant atteindre 30 mètres. Considérant que les regards se trouvent généralement distants de 90 mètres, on peut estimer que, dans la majorité des cas, environ 60 % de la section de conduite est visionnée. Le nettoyage et le contrôle de l'écoulement en amont ne sont pas requis en prévision de l'inspection par caméra à téléobjectif, car ces informations font partie du rapport. Toutefois, la portée de l'inspection peut être limitée par les débris accumulés tout comme par le niveau de l'eau, la discontinuité du profil de la conduite et la présence de

buée. La configuration et la position des regards peuvent parfois rendre l'inspection impossible. Puisque la caméra ne se déplace pas dans la conduite, il est important de noter qu'il est impossible d'obtenir des images perpendiculaires à la paroi.

La ventilation de la conduite et du regard peut être nécessaire s'il y a présence de condensation ou de gaz dans le regard afin de ne pas nuire à l'inspection. Le nettoyage des conduites n'est pas nécessaire dans plusieurs cas puisque le but de l'inspection par caméra à téléobjectif est aussi d'évaluer l'état de fonctionnement des conduites et d'identifier les conduites qui ont besoin de nettoyage ou d'une inspection plus poussée.

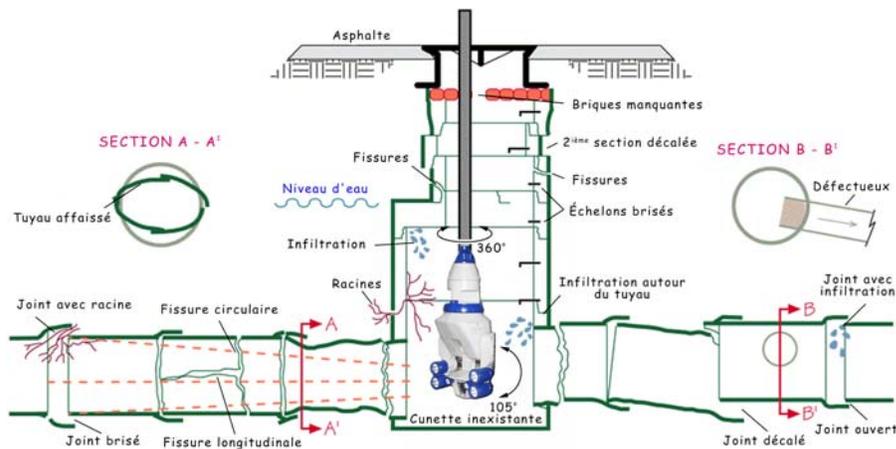


Figure 39 – Inspection télévisée par caméra à téléobjectif
Gracieuseté de Aqua-Data

En conditions d'opération normales, 20 à 30 regards par jour peuvent être inspectés par une équipe, ce qui représente approximativement 1 500 mètres de conduites par jour. Suivant l'inspection, un rapport descriptif sommaire comprend les détails de l'inspection, l'emplacement des conduites inspectées et les caractéristiques de la conduite. Dans le rapport, chaque déficience ou obstruction observée est décrite et localisée. Le rapport contient les images et photos sur vidéocassettes, CD ou DVD. Des recommandations suggérant le nettoyage ou une inspection plus poussée des conduites sont incluses au rapport.

En 2010, le coût d'une inspection par caméra à téléobjectif variait de 75 à 130 \$ par regard (pour un minimum de 100 regards). Ce prix inclut :

- l'inspection du regard et de la conduite;

- le rapport des anomalies observées au regard;
- le rapport des anomalies observées sur les conduites d'égout;
- une copie de l'enregistrement.

Il est important de noter que ce prix n'inclut pas les exigences du protocole MACP, relativement au rapport qui doit être complété pour une inspection complète de regard. Selon une entreprise spécialisée, une inspection réalisée selon les exigences du MACP serait plus coûteuse.



Figure 40 – Exemple d'image tirée d'une inspection par caméra à téléobjectif (Gracieuseté de Aqua Data)

B) INSPECTION PAR CAMÉRA DE TÉLÉVISION CONVENTIONNELLE (CCTV)

Ce type d'inspection permet de vérifier, de façon détaillée, l'état général de la conduite, ce qui comprend les déficiences structurales et fonctionnelles de même que les déficiences de construction et les problématiques d'étanchéité.

Puisqu'une inspection télévisée est motivée par des objectifs précis quant aux résultats attendus, il importe de les définir au préalable. Il faut de plus se rappeler



Figure 41 – Caméra d'inspection à l'intérieur d'une conduite (Gracieuseté de Cues)

que l'inspection ne permet de recueillir que des observations sur l'état intérieur

d'une conduite, à un moment bien précis de sa vie. Les rapports générés doivent donc refléter uniquement et fidèlement les observations constatées à partir de l'intérieur d'un tuyau. Aucune extrapolation ni aucune supposition quant à la détérioration ne doit être incorporée à l'identification des défauts.

Cette méthodologie d'inspection consiste à insérer dans la conduite une caméra vidéo fixée sur un tracteur ou sur des patins et opérée de la surface. La caméra utilisée est à tête rotative, c'est-à-dire qu'elle permet à l'opérateur de visionner les faces perpendiculaires à l'axe de la conduite, et ce, sur toute sa circonférence. L'inspection par caméra de télévision s'effectue en faisant circuler, dans un tronçon de conduite entre deux regards d'accès, une caméra de télévision en circuit fermé. Les images captées par la caméra sont recueillies par un poste de contrôle situé à la surface. L'ensemble des composantes nécessaires pour l'inspection comprend une caméra vidéo étanche ayant une tête rotative munie d'un grand objectif angulaire ainsi qu'un module d'éclairage puissant.

Le camion de service ou poste de travail, quant à lui, possède un écran vidéo, un appareil d'enregistrement avec compteur numérique, un générateur de caractères, un appareil de contrôle des débits, un treuil pour mouvoir la caméra si nécessaire, ainsi que des câbles et des pièces de rechange. Le camion peut servir pour protéger la zone des travaux. Les techniciens doivent aussi installer toute la signalisation nécessaire pour rendre les travaux sécuritaires.

Cette méthode d'inspection peut être employée dans les conduites d'égout non visitables, dont le diamètre se situe entre 200 et 1 200 mm pour les conduites circulaires et 600 mm X 900 mm pour les conduites ovoïdes. Elle peut aussi être employée pour l'inspection des conduites visitables, bien que normalement l'inspection soit réalisée de façon manuelle.

En conditions d'opération normales, la production avec ce type d'équipement peut atteindre un kilomètre par jour pour les conduites circulaires dont le diamètre est inférieur à 450 mm, puis 500 mètres par jour pour les conduites ovoïdes de 600 mm X 900 mm. Le taux de production varie en



Figure 42 – Caméra d'inspection télévisée à tête rotative
Gracieuseté M.S.C. Réhabilitation inc.

fonction du diamètre, de la forme et de l'état (tant fonctionnel que structural) de la conduite inspectée. Les équipements habituellement utilisés permettent l'inspection de conduite d'une longueur maximale de 300 mètres.

L'efficacité d'une inspection faite à l'aide d'une caméra conventionnelle peut être limitée par différents éléments. L'élément limitatif le plus important est sans contredit l'état de propreté de la conduite. Si le nettoyage de la conduite n'est pas effectué correctement, l'efficacité de l'inspection peut être réduite de façon significative, soit en bloquant (ou empêchant) la progression de la caméra dans la conduite, soit en limitant l'observation de défauts. L'inspection d'une conduite mal nettoyée peut mener à une reprise de l'inspection ou pire à un diagnostic erroné. C'est pourquoi il est primordial que la conduite soit débarrassée de tous dépôts, débris, graisse ou incrustation avant de procéder à son inspection. L'inspection peut aussi être limitée par certaines déficiences comme des bris, des joints décalés ou ouverts importants, de même que par des déficiences liées à la construction de l'égout comme des raccordements pénétrants.

Ce type d'inspection ne permet pas d'évaluer l'étanchéité de la conduite lorsque le niveau de la nappe phréatique se situe sous le radier de la conduite ou lorsque l'inspection est effectuée en même temps que le nettoyage.

Il faut aussi noter que l'utilisation de la tête rotative rend parfois difficile l'évaluation de la dimension des défauts. L'utilisation de la tête rotative permet une vision rapprochée des déficiences, ce qui les fait paraître plus importantes qu'elles ne le sont réellement. On doit donc toujours se référer au diamètre de la conduite pour évaluer la dimension des défauts. Finalement, il est très difficile, sans un équipement spécialisé, d'évaluer les déviations dans l'alignement et les déformations. Il faut noter que le type d'équipement employé pour le visionnement de la vidéo d'inspection peut provoquer une illusion de déformation sans qu'elle n'existe réellement. L'utilisation d'un écran format panoramique crée notamment cette illusion en étirant l'image dans le sens horizontal.

Dans certaines circonstances, il peut être nécessaire d'installer de la ventilation dans les puits d'accès. Les mesures de sécurité en espace clos exigent de faire la détection des gaz avant que les techniciens ne descendent pour insérer les équipements dans la conduite. Dans le cas où les débits dans la conduite sont

trop importants, il se peut que l'usage de ballons pneumatiques ou de batardeaux soit nécessaire afin de dévier les eaux durant l'inspection.

En 2010, une inspection par caméra conventionnelle coûtait de 4 à 10 \$ par mètre linéaire pour les conduites circulaires et de 10 à 25 \$ par mètre linéaire pour les conduites ovoïdes. Ces prix n'incluent pas le nettoyage des conduites. Les variables ayant une incidence directe sur les prix de l'inspection conventionnelle sont :

- les dépôts dans les conduites;
- la signalisation nécessaire;
- la dérivation par pompage.

Selon les conditions de chantier (besoin de signalisation, pompage, etc.) et lorsque les prix incluent le nettoyage, les coûts d'inspection par caméra conventionnelle peuvent pratiquement doubler lorsque les réseaux sont encrassés.

C) INSPECTION PAR CAMÉRA TÉLESCOPIQUE (branchements)

L'inspection par caméra télescopique est une évolution de la technologie d'inspection par caméra de télévision conventionnelle. Cette méthode d'inspection est née du besoin d'inspecter les branchements par l'intérieur de la conduite principale. L'utilisation de la caméra télescopique permet donc d'ausculter les branchements sans déranger les citoyens. La plupart des conduites peuvent être auscultées par cette technique.

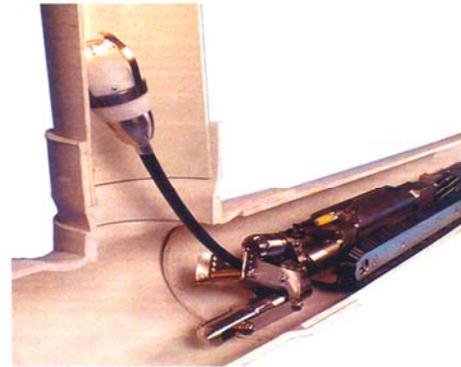


Figure 43 – Exemple d'une caméra télescopique

La caméra comporte un ensemble de deux caméras, une caméra traditionnelle pour l'inspection de la conduite principale et une autre télescopique pour l'inspection des raccordements. Chaque caméra est étanche, possède un grand objectif angulaire et un module d'éclairage puissant. Le module de deux caméras est installé sur un chariot muni de patins et tiré par un treuil ou sur un charriot

autotracté. Les images captées par la caméra sont recueillies par un poste de contrôle situé dans le camion de service, à la surface. Afin d'effectuer l'inspection du raccordement, la caméra principale est située à l'embouchure du raccordement, le module principal tourne pour aligner la caméra télescopique vis-à-vis l'entrée du raccordement. Par la suite, la caméra télescopique est insérée dans le raccordement par un système de déploiement de son bras de support afin de procéder à l'inspection de celui-ci.

Certaines considérations sont à tenir en compte pour l'inspection des branchements. Tout d'abord, un nettoyage léger de la conduite principale est requis. Par la suite, lors de l'inspection de la conduite principale, l'opérateur doit déterminer les raccordements qui sont accessibles et s'il y a assez d'espace pour procéder à leur inspection. Finalement, on utilise la caméra principale pour positionner la caméra télescopique afin d'inspecter le raccordement. La caméra télescopique peut inspecter de 7,5 à 9 mètres dans le raccordement.

Le nombre de mètres inspectés dépend de plusieurs facteurs (l'état du raccordement, sa position, les coudes ou autres accessoires, les racines et la caméra elle-même). Avec la technologie actuelle, il n'est généralement pas nécessaire d'avoir recours à l'inspection des raccordements par les « clean out », par excavation ou par d'autres types d'accès. On note par ailleurs que les raccordements qui sont présents dans les regards peuvent être inspectés avec une mini-caméra « poussée » dans le raccordement à partir du regard.

D) SONAR COMBINÉ À UNE CAMÉRA DE TÉLÉVISION CONVENTIONNELLE

L'utilisation de cette méthode visuelle permet l'inspection des conduites de grand diamètre coulant partiellement pleines, dans lesquelles un débit d'eaux usées est présent et permanent. Le sonar, dont le principe de fonctionnement consiste en l'émission d'ondes sous le niveau de la surface de l'eau, permet de localiser et de schématiser les défauts géométriques, par exemple une déformation de la conduite ou les dépôts présents sous le niveau de l'eau, tandis



Figure 44 – Sonar seul

que la caméra d'inspection télévisée conventionnelle permet le visionnement et l'analyse détaillée de la portion visible de la conduite.

Dans le cas du sonar, une onde acoustique est émise par l'appareil (placé à la surface de l'eau) et est réfléchi par le solide ou les dépôts rencontrés sur la paroi interne de la conduite. Lorsqu'un défaut est présent sur la paroi et qu'il n'y a pas de dépôt dans la conduite, l'onde n'est pas réfléchi et le signal traverse la paroi de la conduite jusqu'au sol.

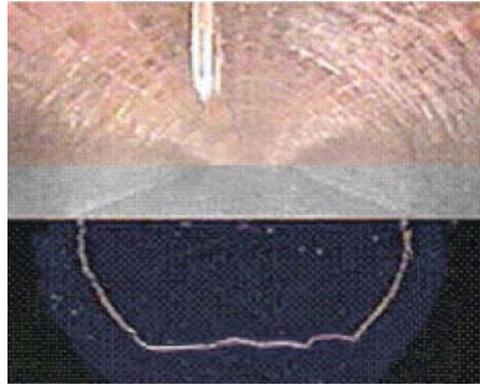


Figure 45 – Image type d'inspection

Le système d'acquisition enregistre le signal. Le traitement par logiciel informatique permet d'obtenir une vue en coupe ainsi qu'un profil de la conduite inspectée. La profondeur et la largeur des défauts peuvent ainsi être appréciées. Le faisceau peut détecter les déformations, les briques et le mortier manquants. Une ouverture minimale est requise pour détecter les fractures.

La bande vidéo fournie est alors composée d'une image de la partie visible de la conduite et du profil de la partie submergée. De cette façon, l'analyse de la vidéo permet d'évaluer l'état de la partie submergée et de définir avec précision le volume de dépôts.

Le sonar combiné à la caméra d'inspection télévisée permet l'inspection des conduites d'un diamètre variant de 525 à 2 500 mm. Le coût moyen de l'utilisation de cette méthode d'inspection variait, en 2010, entre 8 et 10 \$ le mètre. Si l'inspection se limite uniquement à l'utilisation du sonar, le coût varie alors entre 6 et 8 \$ le mètre.

La production moyenne de cette méthode d'inspection est de 300 mètres par jour.

La qualité et la clarté de l'image provenant du sonar sont influencées par plusieurs facteurs. L'arrivée d'eau en provenance de conduites perpendiculaires ou de raccords peut provoquer un entraînement significatif d'air dans

l'effluent de la conduite sous inspection. L'arrivée de bulles d'air dans l'eau tend à bloquer le signal du sonar, provoquant de l'interférence dans l'image rendue par le sonar. Toutefois, ce phénomène aura pour effet de permettre l'identification des zones où il y a turbulence dans l'écoulement. La suspension importante de solides et de débris dans l'eau peut, elle aussi, bloquer le signal rendu par le sonar. Toutefois, la présence de « nuage » de silt peut être utilisée pour identifier des changements soudains dans les conditions au niveau du radier.

La précision de cet équipement dépend de la vitesse de progression longitudinale de l'équipement, du niveau de particules en suspension et de la turbidité de l'eau. Dans des conditions idéales et à très faible vitesse, le sonar permet d'identifier des fractures de l'ordre de 5 mm. Par contre, dans des conditions d'opération normales (vitesse approximative de 100 mm par seconde), la précision de l'appareil est réduite et empêche l'identification des petites déficiences visibles à la surface de la paroi.

Le sonar peut aussi être employé pour valider les dimensions inscrites sur les plans tel que construit (TQC) afin de préciser, au besoin, les modélisations hydrauliques.

Les technologies disponibles au Québec pour l'auscultation des conduites d'égout sont les caméras de télévision, disponibles en différents formats et applications, et celles-ci s'avèrent les plus utilisées pour l'auscultation des conduites d'égout. Les technologies plus sophistiquées permettant de déceler des vides ou encore de déterminer la capacité structurale résiduelle des conduites peuvent être utilisées pour les conduites dont les dimensions sont importantes et pour lesquelles les conséquences d'un effondrement seraient catastrophiques. Les coûts reliés à l'utilisation de ces technologies seraient justifiés par une meilleure connaissance de leur état et la planification des interventions requises.

Le prochain chapitre traitera des technologies de réhabilitation ou de remplacement les plus utilisées au Québec. Ces différentes solutions d'intervention seront regroupées selon les phases du cycle de vie d'une conduite.

5 FAMILLES D'INTERVENTION SELON LE CYCLE DE VIE

Les bonnes pratiques de gestion durable des infrastructures suggèrent que les activités d'entretien, de maintien et de réhabilitation requises à chaque période du cycle de vie de l'infrastructure sont mises en œuvre au moment opportun. Cette approche de gestion implique aussi que les interventions sont réalisées de façon proactive et préventive.

Dans le cas des conduites d'égout, la durée de vie probable, pour la plupart des matériaux en usage dans le passé et présentement, est de 100 ans. Les conduites en brique, présentes dans les sous-sols des plus anciennes villes du Canada et de l'Amérique du Nord, ont, quant à elles, une durée de vie probable de plus de 150 ans. La mise en place des pratiques de gestion durable permet que la durée de vie anticipée soit atteinte, voire même dépassée, en autant que les critères de conception soient toujours rencontrés (le débit par exemple).

Le schéma qui suit illustre le cycle de vie d'une infrastructure.

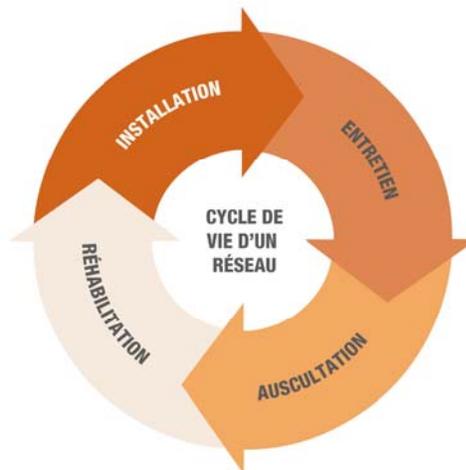


Figure 46 – Illustration du cycle de vie d'une infrastructure

L'expérience acquise lors de la réalisation de nombreux plans d'intervention a permis de constater que plusieurs conduites doivent être remplacées prématurément parce qu'aucun entretien majeur n'a été effectué au moment où il était requis (colmatage de fissures, reprise de joints de mortier, etc.).

Le graphique présenté ci-après illustre les quatre périodes du cycle de vie et les familles d'interventions suggérées pour en assurer l'intégrité et la pérennité.

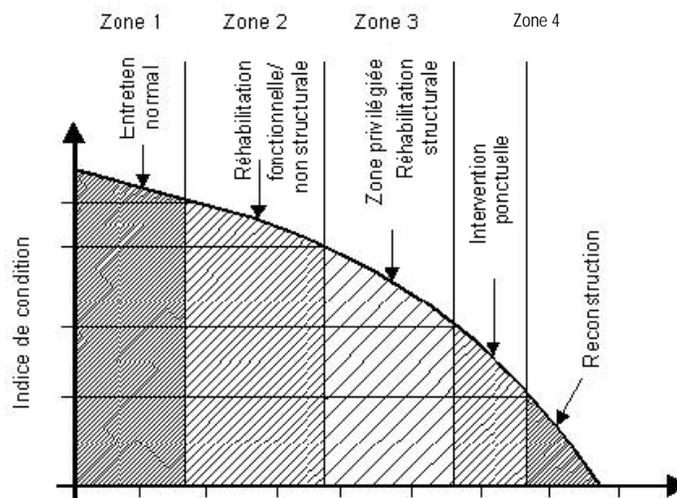


Figure 47 – Représentation des quatre phases du cycle de vie d'un actif et des types d'intervention recommandés

On retrouvera, dans les paragraphes qui suivent, différentes interventions possibles regroupées par phases du cycle de vie des conduites d'égout.

5.1 ENTRETIEN MINEUR

5.1.1 Nettoyage hydraulique

Le nettoyage périodique des réseaux d'égouts permet d'assurer leur bon fonctionnement et de détecter des anomalies. En effet, la présence de sable ou de gravier peut constituer un indice de défauts structuraux (bris, joints ouverts ou décalés, etc.). Plusieurs méthodes de nettoyage sont disponibles et chacune nécessite des précautions particulières, selon l'état du réseau.

Les méthodes de nettoyage hydraulique exigent des mesures de précaution afin que la pression d'eau n'endommage pas la conduite fragilisée ni ne soit à l'origine d'inondations de biens publics ou privés desservis par les conduites.

Nettoyage par jets d'eau à haute pression. Cette méthode de nettoyage dirige un jet d'eau haute vitesse en direction de la paroi de la canalisation, à divers angles, pour déloger les corps étrangers de la canalisation. Cette technique peut être assez efficace pour éliminer l'accumulation de graisse ou de débris. Le matériel de nettoyage à haute pression comprend un réservoir d'alimentation en eau, une pompe à haute pression, un moteur auxiliaire, une lance, un touret commandé par un moteur avec réglage de vitesse et commande de direction, des tuyères

interchangeables et l'outillage accessoire. Ce matériel de base est monté sur un camion ou sur une remorque. Les lances doivent normalement être en mesure d'effectuer une action de récurage de 15 à 45 degrés, avec deux ou plusieurs tuyères à grande vitesse. Des pressions de 6,9 à 69 MPa (1000 à 10 000 psi) et plus peuvent être générées par ce système.

Racloirs métalliques. Ce dispositif de curage est constitué d'un châssis en acier de la forme d'un piston, autour duquel les lames en acier trempé sont disposées à différents angles. Ce dispositif est poussé en avant dans la canalisation sous l'effet de la pression d'eau à des vitesses de 0,5 à 3 m par seconde (2 à 10 pi par seconde), ce qui déclenche une action de raclage ou de brossage contre la paroi de la canalisation. Ce dispositif est généralement utilisé pour retirer des dépôts durcis. Il peut être déconseillé de les utiliser dans des conduites fragiles ou fissurées.

5.1.2 Nettoyage mécanique

Nettoyage des tuyaux par cannes. Le matériel de nettoyage par cannes comprend un moteur et un organe de commande, des cannes d'acier continues ou en sections, puis un ensemble d'ustensiles de nettoyage, de retenue et de guidage. Le matériel motorisé assure le couple qui entraîne la canne au fur et à mesure qu'elle s'engage dans la canalisation, en faisant tourner le dispositif de nettoyage prévu sur l'extrémité d'attaque. Cette méthode de nettoyage s'avère efficace pour désagréger les dépôts de graisse, couper les racines, déloger les débris et éliminer les obturations. Les cannes motorisées sont assez efficaces dans les canalisations allant jusqu'à 300 mm de diamètre.

Nettoyage par raclage. Le nettoyage par raclage est semblable au nettoyage par racloirs métalliques décrit auparavant, mais cette méthode ne fait pas appel à la pression d'eau. Un système de treuil et de câble d'acier permet de tirer un outil à griffes en acier plus une série de rouleaux en caoutchouc dans la canalisation. Une série de lames et de brosses sont fixées sur le dispositif de raclage. L'appareil de nettoyage est hissé au moyen d'un treuil le long de la canalisation, dans une direction puis dans l'autre, jusqu'à ce que la paroi de la canalisation soit propre. Ce dispositif est d'une conception souple, ce qui lui permet de négocier des courbes allant jusqu'à 45 degrés. Ce type de dispositif est surtout utilisé pour nettoyer des conduites métalliques.

5.1.3 Vérification de la déformation

Le recours au profilomètre (ou au gabarit), à cette étape du cycle de vie, permet de quantifier et de comparer dans le temps la déformation d'une section de conduite. La quantification de la déformation est utile comme déclencheur d'une intervention de réhabilitation afin d'éviter de perdre cette fenêtre d'opportunité. Rappelons qu'une déformation de 10 % constitue une limite théorique pour la réhabilitation par chemisage.

5.1.4 Inspection télévisée

Les différents types d'inspection télévisée ont été décrits précédemment. L'inspection télévisée est l'outil d'auscultation le plus utilisé pour améliorer la connaissance de l'état des réseaux et pour en faire le suivi. Les inspections télévisées sont réalisées pour différentes raisons : identifier la cause d'un problème d'entretien récurrent, connaître l'état d'une conduite lorsque des travaux sont prévus à proximité sur la chaussée, ou encore prioriser les interventions dans le temps.

La priorisation des interventions peut être structurée dans le cadre d'une stratégie d'auscultation basée sur le risque d'effondrement, l'importance hiérarchique de la conduite et les impacts de sa déficience. Cette stratégie aura comme objectifs :

- de connaître l'état du réseau sur un horizon de moyen à long terme, selon l'ampleur du réseau;
- de suivre l'évolution de l'état du réseau en vue d'en assurer la pérennité;
- d'optimiser les investissements.

Le tableau suivant fournit, à titre indicatif seulement, les coûts budgétaires pour les interventions décrites plus haut.

Tableau 4 – Coûts budgétaires des activités ou des interventions d’entretien mineur pour des conduites dont les diamètres varient de 200 à 450 mm

Actif	Activité/Intervention	Coûts unitaires
Conduite	Inspection CCTV	4,00 à 10,00 \$/m lin.
	Nettoyage	5,00 à 8,00 \$/m lin.
	Gabarit	0,75 \$/m lin. (plus inspection télévisée)
	Profilomètre	2,00 \$/m lin. (plus inspection télévisée)

5.2 ENTRETIEN MAJEUR

5.2.1 Colmatage par injection

Le colmatage par injection est utilisé pour sceller des fissures et autres défauts causant des infiltrations dans les conduites gravitaires d’égout. Cette technique peut même permettre de remplir les cavités dans le sol entourant la conduite dans le cas où celui-ci aurait pu être lessivé lors d’infiltration. Un manchon d’injection permet de gonfler un ballon afin d’isoler la section de la conduite à réhabiliter, d’injecter un coulis chimique et de maintenir une pression prédéterminée. Des conduites de 100 à 3 600 mm ainsi que des branchements de 90 à 225 mm peuvent être réhabilités par colmatage.

5.2.2 Alésage des obstructions

L’alésage est une opération visant à éliminer les obstructions dans une conduite. Ces obstructions peuvent être des racines, de la graisse, des dépôts calcaires, des joints d’étanchéité déplacés, etc., qui nuisent à l’écoulement et augmentent les risques de refoulement. Ces obstructions peuvent aussi empêcher le passage de la caméra ou risquer d’endommager la gaine lors d’une réhabilitation. Lors de l’alésage, les outils spécialisés sont fixés à l’extrémité du boyau de l’unité de nettoyage et sont activés par la pression d’eau. La figure qui suit illustre différents types d’outils.



Figure 48 – Exemples d’outils pour aléser les obstructions dans une conduite

5.2.3 Réparation des joints en brique

Cette réparation non structurale sert à réduire les infiltrations et les exfiltrations dans les collecteurs en brique ou en maçonnerie. Il faut évider les joints, nettoyer la zone à réparer et retirer le mortier désagrégé; il faut ensuite remplir les joints de mortier frais à la main ou au moyen d’outils pneumatiques.

Le tableau suivant fournit, à titre indicatif seulement, les coûts budgétaires pour les interventions décrites plus haut.

Tableau 5 – Coûts budgétaires d’activités ou d’interventions d’entretien majeur

Actif	Activité/Intervention	Coûts unitaires
Conduite	Alésage hydraulique des obstructions (incluant le nettoyage)	8,00 à 15,00 \$/m lin.
	Colmatage par injection (conduites circulaires)	165,00 à 275,00 \$/joint
	Réparation des joints en brique (conduites ovoïdes)	475,00 \$/ m lin.

Une étude réalisée par le Conseil national de recherches Canada (CNRC)¹⁶ fournit des exemples de prix d’intervention pour des techniques d’entretien majeur. Le tableau extrait du rapport est présenté pour information seulement.

¹⁶ « Guide d’évaluation et de réhabilitation des égouts collecteurs », Zhao, Jack Q., McDonald, Shelley E., Kleiner, Yehuda, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches Canada, 2001, 90 pages.

Tableau 6 – Exemple de prix de techniques d’entretien majeur

Tableau 6.3 Exemples de coûts de réhabilitation fondés sur des études de cas

Municipalité	Type de réhabilitation	Coût ¹	Remarques
Hamilton ² (CH2M Gore & Storrie Limited 1999)	Colmatage de fissures sans infiltration	250 \$/m	Diamètre de 1525 à 2745 mm
Hamilton (CH2M Gore & Storrie Limited 1999)	Colmatage de fissures avec infiltration	380 \$/m	Diamètre de 1525 à 2745 mm
Hamilton (CH2M Gore & Storrie Limited 1999)	Ragréage (réparation localisée avec du mortier à prise rapide)	920 \$/m ²	Diamètre de 1525 à 2745
Hamilton (CH2M Gore & Storrie Limited 1999)	Réparation des fissures avec du mortier de ciment	3000 \$/m ³	Diamètre de 1525 à 2745 mm
MROC (DS Lea Associates 1994)	Enlèvement des racines, injection chimique	30 \$/m (circonférence)	Diamètre supérieur à 900 mm
MROC (DS Lea Associates 1994)	Enlèvement du calcite, injection chimique	75 \$/m (circonférence)	Diamètre supérieur à 900 mm
MROC (DS Lea Associates 1994)	Enlèvement des racines et du calcite, injection chimique	70 \$/m (circonférence)	Diamètre supérieur à 900 mm
MROC ³ (Mooney's Bay, rapport 1994)	Alésage du calcite	4 \$/m linéaire	Diamètre de 1070 mm
MROC (Mooney's Bay, rapport 1994)	Enlèvement des racines et réparation des garnitures exposées	\$5/m linéaire	Diamètre de 1070 mm
MROC (Mooney's Bay, rapport 1994)	Colmatage des joints entre les tronçons adjacents	200 \$/joint	Diamètre de 1070 mm

Remarques :

1. Les coûts indiqués correspondent aux coûts établis pour l'année de la construction.
2. Les méthodes utilisées pour la réhabilitation du collecteur de Hamilton comprenaient le coulage de béton, la réhabilitation par chemisage et le revêtement par projection après drainage et nettoyage de la conduite (CH2M Gore & Storrie Limited 1999).
3. Mooney's Bay Collector Sewer Infrastructure Needs Study, municipalité régionale d'Ottawa-Carleton (MROC). Préparé par J.L. Richards & Associates Ltd., 1994, Ottawa, Ontario.

5.3 RÉHABILITATION STRUCTURALE¹⁷

Les technologies sans tranchée sont des technologies qui n'utilisent pas ou qui limitent les excavations. Ces techniques utilisent des méthodes de construction, des matériaux et de l'équipement qui sont peu encombrants afin de restreindre les impacts sociaux et environnementaux qui découlent des travaux sur les infrastructures souterraines.

Les techniques de réhabilitation structurale sont celles qui permettent de réhabiliter une conduite dont la structure est défaillante. Elles consistent à solidifier une section ou l'ensemble de la conduite en lui redonnant sa résistance initiale. Dans certains cas, la technique de réhabilitation sert également à améliorer la capacité hydraulique en plus de la capacité structurale. Les prochains paragraphes présentent les principales techniques utilisées au Québec.

¹⁷ Pour plus d'informations, consulter « Les classeurs du CERIU - Infrastructures souterraines ».

5.3.1 Chemisage

Le principe de la technique de chemisage consiste à insérer une gaine composée de fibres de verre ou de polyester non tissé et imprégnée de résine dans la conduite. Deux méthodes sont utilisées pour insérer la gaine dans la conduite.

La première consiste à introduire la gaine par inversion, à partir d'un puits d'accès. Une extrémité de la gaine est fixée à un collet rigide qui la maintient et permet de l'inverser graduellement dans la conduite d'accueil. Lorsque la gaine est totalement déployée dans la conduite, la pression de mise en place de la gaine est conservée. L'eau ou l'air est utilisé afin de déployer la gaine et de la chauffer pour déclencher le mûrissement de la résine. Lorsque le cycle est complété, la gaine est refroidie, les deux extrémités sont coupées et les embouts de la conduite sont scellés.

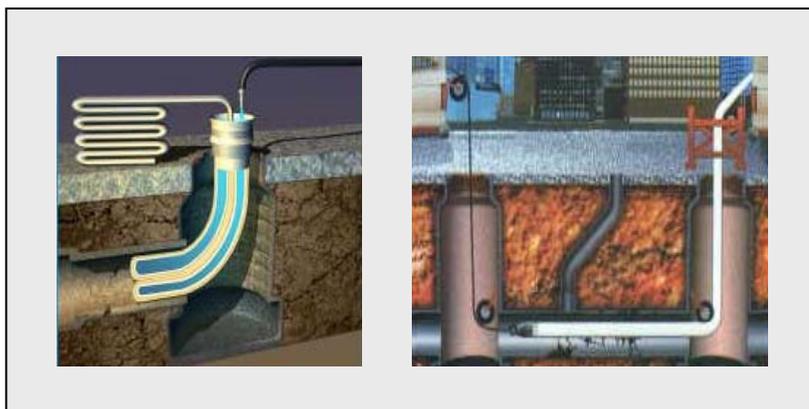


Figure 49 – Illustrations de la technique de chemisage

La deuxième technique d'insertion de la gaine est le tirage. Après avoir été imprégnée de résine, la gaine, dont les extrémités sont scellées, est simplement tirée à l'aide d'un treuil à l'intérieur de la conduite, entre les deux puits d'accès. Lorsque la gaine est bien positionnée, une pression est appliquée à l'intérieur de la gaine afin de la déployer et de la plaquer sur la surface interne de la conduite d'accueil. Une fois cette opération complétée, il est possible de débiter le mûrissement de la résine, selon le même principe que le chemisage inversé.

Le principal avantage du chemisage est sa rapidité d'installation. L'installation se fait par les regards, ce qui fait qu'aucune excavation n'est nécessaire. La gaine est fabriquée sur mesure, cela permet de couvrir une gamme très étendue de formes de conduites et de diamètres pouvant faire l'objet d'une réhabilitation. La réouverture des branchements est facilement réalisable par l'intérieur de la

conduite. Des robots sont utilisés pour les conduites non visitables. Le chemisage est la technique de réhabilitation des conduites la plus utilisée au Québec. Elle est offerte par plusieurs entrepreneurs québécois.

Avant d'effectuer le chemisage d'une conduite d'égout, il est nécessaire d'effectuer son nettoyage. Il est indispensable qu'une inspection minutieuse de la conduite soit faite avant le chemisage, afin de localiser l'emplacement exact des branchements pour permettre leur réouverture à la suite de la réhabilitation.

5.3.2 Tubage

La technique de réhabilitation par tubage consiste à insérer un tuyau flexible ou rigide à l'intérieur de la conduite à réhabiliter. Le tubage est utilisé pour améliorer les capacités hydraulique et structurale, il permet aussi de corriger les anomalies présentes dans les conduites telles que l'infiltration, les fissures, les racines, etc. Le tubage peut être effectué selon quatre procédés :

- Le tubage (insertion) segmenté permet d'insérer une nouvelle conduite en courts segments à l'intérieur de celle à réhabiliter. La nouvelle conduite est insérée par des puits d'accès qui sont habituellement les regards, en courts segments qui sont tirés à l'aide d'un treuil ou poussés par des appareils spéciaux. Des tuyaux d'un diamètre de 20 mm et plus peuvent être insérés. Les sections de tuyaux sont généralement munies de joints à emboîtement ou à rainure. Il est parfois nécessaire d'injecter un coulis dans l'espace annulaire.



Figure 50 – Exemple de tubage segmenté

- Le tubage par tuyaux déformés utilise un tuyau déformé en usine, habituellement en forme de U. Au chantier, son installation consiste à attacher une extrémité du tuyau à un câble, puis à le tirer à l'aide d'un treuil dans la

conduite d'accueil. Lorsque l'insertion du tuyau est terminée, celui-ci est chauffé à l'aide d'une combinaison de pression et de vapeur pour lui redonner sa forme originale (circulaire). Le passage d'une torpille permet de finaliser la mise en forme de la conduite. Des tuyaux de 100 à 450 mm peuvent être insérés, mais il est aussi possible d'insérer des tuyaux jusqu'à 900 mm. Il est parfois nécessaire d'injecter un coulis dans l'espace annulaire.



Figure 51 – Exemple de tubage déformé

- Le tubage ajusté consiste à insérer un nouveau tuyau en polyéthylène de haute densité (PEHD) ou de moyenne densité (PEMD), dont le diamètre extérieur est légèrement plus grand que le diamètre intérieur de la conduite d'accueil. Cette façon de faire permet d'obtenir un contact très étroit entre les deux conduites. Le tuyau est comprimé avant son insertion afin de réduire son diamètre de 7 à 11 %. Le tuyau est inséré au fur et à mesure qu'il est réduit. Une fois l'insertion terminée, la tension dans le tuyau est relâchée afin que celui-ci retrouve son diamètre d'origine. Des conduites d'un diamètre variant de 100 à 1 100 mm peuvent être réhabilitées avec cette technique.

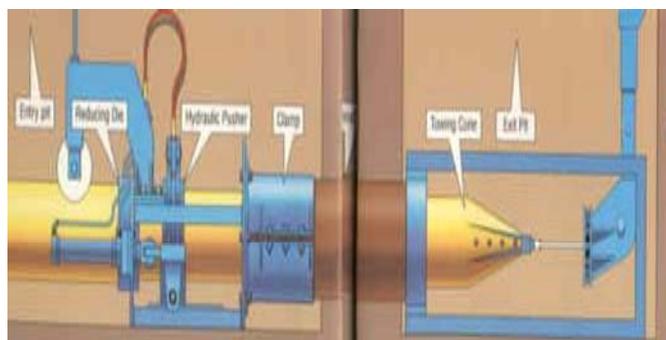


Figure 52 – Exemple de tubage ajusté

- L'insertion conventionnelle (tubage conventionnel) avec espace annulaire consiste à insérer une nouvelle conduite de plus petit diamètre dans la conduite à réhabiliter. La nouvelle conduite est introduite, soit par tirage à l'aide d'un treuil ou soit poussée à l'aide d'appareils spéciaux. Généralement, la conduite insérée est en polyéthylène et les joints sont fusionnés.

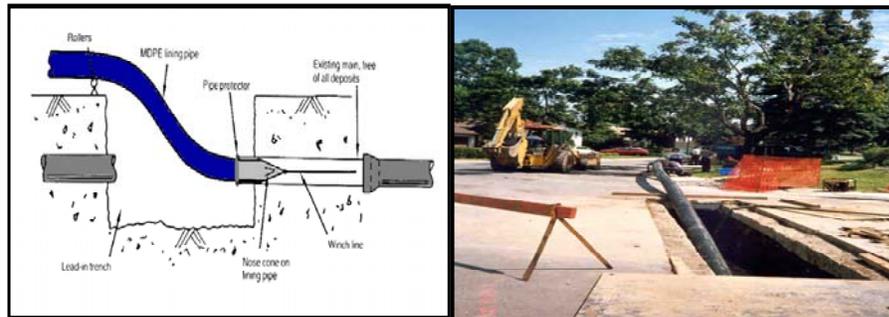


Figure 53 – Exemple d'insertion conventionnelle

L'insertion conventionnelle nécessite généralement l'injection d'un coulis dans l'espace annulaire entre les deux conduites. Durant la procédure d'injection, la conduite insérée est sujette à deux forces : la flottaison et la pression externe. La figure suivante illustre ce phénomène.

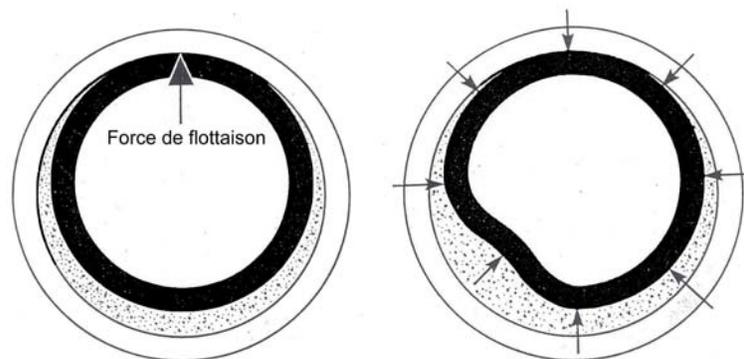


Figure 54 – Force de flottaison et pression externe sur la conduite insérée ¹⁸

La force de flottaison est présente lorsque les espaces annulaires sont assez importants et nécessitent un grand volume de produits d'injection. Cette situation peut être aggravée par le fait que plusieurs types de conduites qui sont utilisés pour l'insertion ont un poids trop léger pour contrebalancer ces forces. Pour éviter cette situation dans les conduites visitables, on place des « espaceurs » à intervalles

¹⁸ Tiré et traduit du Water Research Centre, 1986.

réguliers afin d'éviter les déplacements. Mais les conduites insérées doivent être conçues pour tenir compte de ces charges ponctuelles. Dans le cas des conduites non visitables, on ne peut garantir que la conduite ne « flottera » pas. Cela peut entraîner des variations dans la pente et l'alignement. Si la conduite flotte à la couronne de l'égout, elle peut devenir vulnérable au flambage. Il existe des méthodes pour déterminer les forces de flottaison et les contrer.

Les conduites peuvent aussi être soumises à des pressions externes produites par l'injection de coulis dans l'espace annulaire. On sait que la pression qui leur est imposée durant l'injection peut être différente de celle indiquée sur les manomètres d'injection. La conduite doit donc être capable de supporter le poids du matériel d'injection qui comblera l'espace annulaire. À court terme, la conduite doit aussi résister à la pression supplémentaire produite par la pompe lors de l'injection.

Le tableau suivant fournit, à titre indicatif seulement et sans tenir compte des conditions particulières du chantier, les coûts budgétaires pour le chemisage décrit en début de section.

Tableau 7 – Coûts budgétaires du chemisage de conduites circulaires

Actif	Activité/Intervention	Coûts unitaires
Conduite circulaire	Chemisage continu (Pour des conduites dont les diamètres varient de 200 à 450 mm)	De 200,00 à 500,00 \$/m lin.

La même étude citée précédemment fournit une courbe de prix de chemisage en fonction du diamètre de la conduite. Ce tableau est fourni pour information seulement.

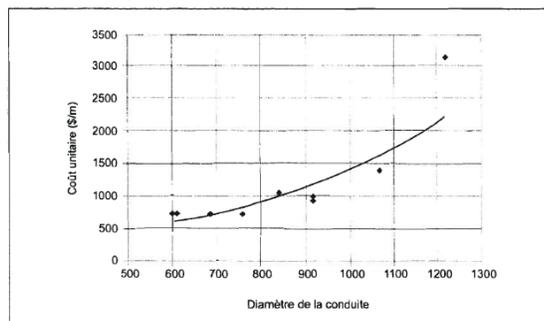


Figure 6.1 Coût des gaines durcies sur place en fonction du diamètre de conduite

Figure 55 – Exemple de prix pour la technique de chemisage

5.3.3 Interventions ponctuelles

Il est possible de faire la réhabilitation d'une partie d'une section de conduite. Plusieurs techniques peuvent être envisagées lorsqu'une conduite présente des défauts structuraux ou hydrauliques ponctuels. Les techniques suivantes sont disponibles et utilisées pour des interventions localisées.

Le **chemisage ponctuel** est utilisé pour faire une réhabilitation de quelques mètres seulement, sur des conduites de 75 mm et plus. La section de gaine est installée sur un ballon gonflable, celui-ci est localisé à l'endroit où la réhabilitation est nécessaire et l'expansion du ballon comprime la gaine sur la paroi. Après une période de mûrissement, le ballon est dégonflé et retiré de la conduite.

L'utilisation de **manchons internes** permet de réaliser des réparations structurales et/ou fonctionnelles localisées. Ces manchons peuvent être mis en place dans des conduites non visitables, à l'aide d'une caméra de télévision jumelée à un ballon autour duquel le manchon est

fixé. Le ballon se gonfle et fixe le manchon à la conduite. Dans le cas des conduites semi-visitables et visitables, des manchons peuvent aussi être installés. Une garniture de caoutchouc est d'abord appliquée au joint ou à la fissure, puis un manchon d'acier est ensuite fixé à l'aide d'un dispositif de serrage.



Figure 56 – Exemple de chemisage ponctuel

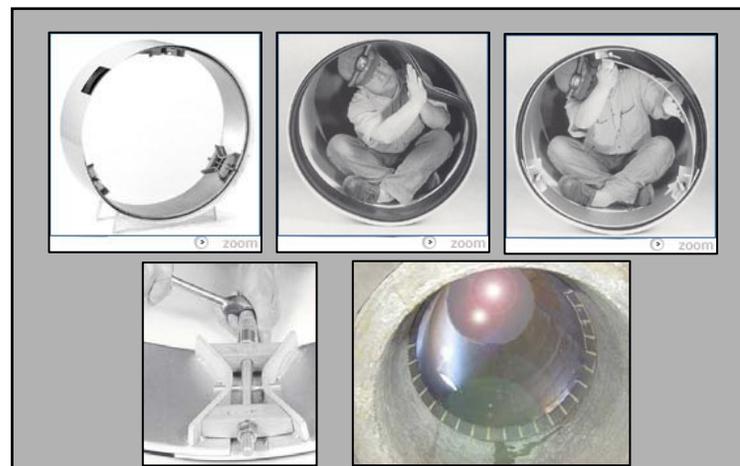


Figure 57 – Exemples de manchons internes

Le tableau suivant fournit, à titre indicatif seulement, les coûts budgétaires pour les interventions décrites plus haut.

Tableau 8 – Coûts budgétaires d'une intervention par chemisage ponctuel

Actif	Activité/Intervention	Coûts unitaires
Conduite	Chemisage ponctuel (Coût selon la longueur et le diamètre de la conduite)	Pour 1 mètre linéaire De 200 à 450 mm de diamètre 1 800,00 à 2 750,00 \$
		Pour 3,0 mètres linéaires De 200 à 450 mm de diamètre 3 000,00 à 4 500,00 \$

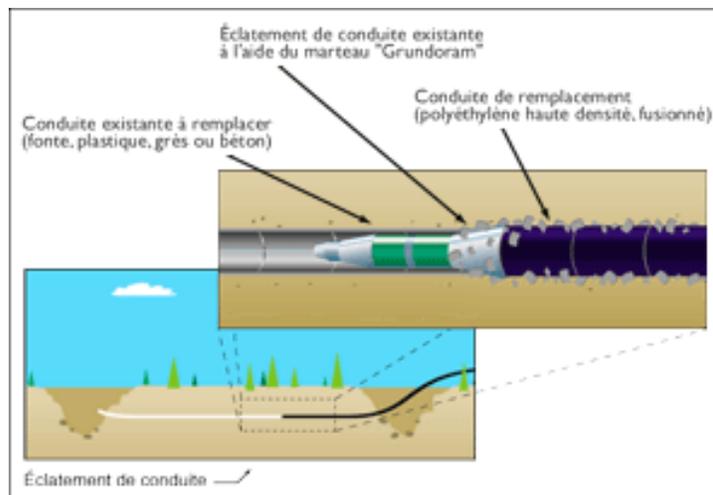
5.4 RECONSTRUCTION SANS TRANCHÉE

Plusieurs techniques sans tranchée existent pour faire l'installation de nouvelles conduites. Dans tous les cas, la connaissance des conditions environnantes à la conduite est essentielle pour bien choisir la technique à utiliser. En plus d'une étude approfondie du sol, il faut localiser toutes les conduites et infrastructures souterraines se trouvant dans la zone des travaux.

5.4.1 Éclatement de conduite

La technique d'éclatement permet le remplacement de la conduite en entier, en insérant une nouvelle conduite du même diamètre ou d'un diamètre supérieur à celui de la conduite existante. Le changement d'alignement de la nouvelle conduite est possible, mais l'usage d'outils spécialisés est nécessaire. L'éclatement de l'ancienne conduite se fait en passant un outil éclateur à l'intérieur de la conduite. Les fragments de la conduite sont repoussés dans le sol encaissant. Une nouvelle conduite en polyéthylène haute densité (PEHD) est par la suite installée.

Des excavations locales doivent être effectuées pour procéder aux raccordements des branchements. L'éclatement de la conduite peut affecter les infrastructures adjacentes et même provoquer le soulèvement de la surface. C'est pourquoi il est nécessaire de bien connaître les conditions de sol et la localisation des structures avoisinantes.

Figure 58 – Éclatement de conduite¹⁹

5.4.2 Microtunnelier

Le microtunnelier est une méthode sans tranchée permettant l'installation d'une nouvelle conduite. Le microtunnelier fore un tunnel en appliquant une pression sur le sol, tout en jumelant une rotation de la tête de coupe. La conduite est introduite simultanément et poussée tout le long du forage. Il existe deux types d'évacuation des déblais, soit avec l'usage d'une vis sans fin, soit en utilisant un système de boue liquide. L'usage de la bentonite permet de réduire les contraintes de friction induites par l'avancement des conduites enfoncées. Il est essentiel de bien connaître le sol dans lequel une conduite sera installée. Des conduites de 200 mm de diamètre et plus en acier, en béton armé ou en béton polymère peuvent être installées à l'aide d'un microtunnelier.

Figure 59 – Photos d'un microtunnelier²⁰

¹⁹ Image tirée du site : <http://www.nella-drilling.com/fr/frameset-fr.html>.

²⁰ Images tirées du site <http://www.kerrconstruction.com/serv04-microtunneling.htm>.

5.4.3 Forage dirigé

Le forage dirigé permet d'installer des conduites sous un obstacle et sans tranchée. Le diamètre des conduites installées peut atteindre 1 200 mm, tandis que la distance parcourue pour un seul forage peut atteindre 1,8 kilomètre. Comme dans le cas du microtunnelier, il est essentiel de bien connaître le sol dans lequel la conduite doit être installée. Un sol sans cailloux ni bloc est idéal pour cette technique. L'installation d'une conduite par forage dirigé se fait en deux étapes. La première consiste à forer un trou pilote à l'aide d'un foret. La deuxième consiste à passer un alésoir afin d'agrandir le trou pilote pour l'insertion de la nouvelle conduite. Des conduites en polyéthylène haute densité, en acier ou en PVC peuvent être utilisées.

Cette technique est peu utilisée pour l'installation de conduites gravitaires, car dans certains sols il est difficile de conserver une pente constante.

En effet, si la tête de forage croise des roches ou des blocs, ceux-ci la feront dévier et pourront créer des bas-fonds.

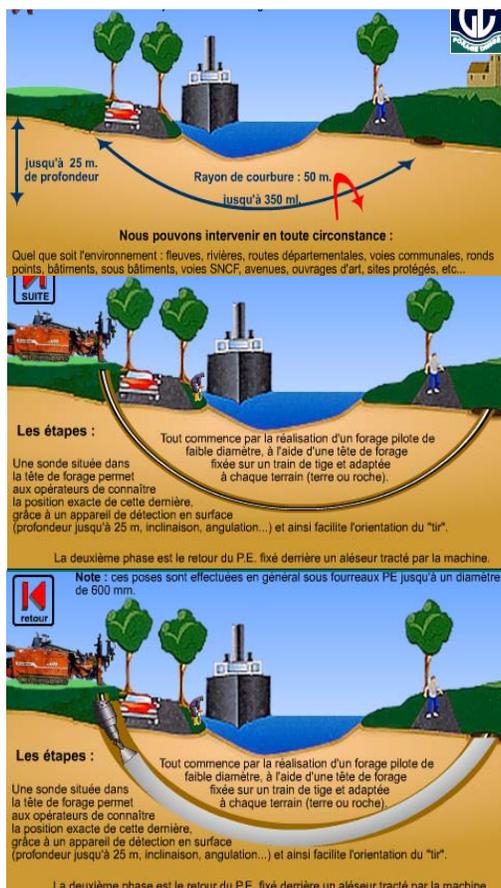


Figure 60 – Procédure utilisée pour le forage dirigé

Plusieurs autres techniques d'insertion sans tranchée peuvent être utilisées. Cependant, leur usage au Québec est moins fréquent. Le lecteur pourra consulter les classeurs du CERIU afin d'obtenir plus de détails.

6 ÉVALUATION DE L'ÉTAT DES CONDUITES

Deux indices d'évaluation de l'état des conduites pour interpréter les données recueillies de l'inspection télévisée, selon les standards du protocole PACP, seront discutés dans ce chapitre : la cote maximale et le pointage rapide; ce sont des outils de base permettant d'examiner rapidement les conduites et de les trier selon les défauts significatifs qu'elles contiennent.

6.1 LA COTE MAXIMALE

La cote maximale de chaque section de conduite fournit une information de première ligne, permettant de départager rapidement les conduites qui nécessitent un suivi par auscultation de celles qui méritent une attention particulière et rapide.

La cote maximale est la cote la plus élevée parmi les cotes attribuées aux différents défauts rencontrés le long de la section de conduite évaluée.

Le système de pointage du PACP (version 4.3) qui est utilisé pour établir la cote maximale et le pointage rapide comporte certaines limitations. Il est utile de faire quelques commentaires concernant ce système pour faire une bonne utilisation des indices d'état.

- A) Le système d'évaluation du PACP ne permet pas d'additionner les défauts qui pourraient se retrouver au même chaînage. Par conséquent, si à un chaînage donné plusieurs défauts de différentes cotes sont présents, la cote maximale à ce point sera celle du défaut ayant le pointage le plus élevé.

- B) Certains défauts ayant une cote de 1, dont notamment les joints ouverts et les joints décalés, peuvent avoir des conséquences graves sur le comportement du système sol/conduite sensible au lessivage des particules d'enrobage. C'est pourquoi certains ajouts au protocole PACP devront être envisagés lors d'une mise à jour du manuel CERIU/PACP. Le pointage structural associé au joint ouvert n'est pas variable en fonction des matériaux et des diamètres. En effet, si l'on considère une conduite de PVC, de grès ou de ciment-amiante par exemple, le joint pourrait demeurer étanche même si l'ouverture correspond à plus de 1,5 fois l'épaisseur de la paroi, ce qui est considéré comme un joint ouvert important. Cette déficience est loin de représenter une réelle problématique.

- C) Les raccordements pénétrants sont notés dans les rapports en fonction de la dimension de leur intrusion en mm, alors que le pointage tient compte du pourcentage d'obstruction de cette dernière.
- D) La cote structurale associée à l'armature visible est 5, et ce, peu importe l'ampleur de la déficience. Ainsi, que l'armature soit visible en raison d'un perçage mal exécuté ou d'une attaque par le sulfure d'hydrogène (H₂S) qui expose l'armature sur toute la circonférence de la conduite et sur toute sa longueur, le défaut aura une cote de 5.

6.2 LE POINTAGE RAPIDE

Le pointage rapide proposé par le PACP est aussi un moyen simple et rapide pour effectuer une priorisation des sections de conduites.

Le pointage rapide permet, à partir d'un code à quatre caractères, d'informer le gestionnaire sur la gravité des défauts rencontrés dans la conduite et sur l'occurrence de ces défauts. Le pointage rapide du PACP permet aussi de fournir un cliché du nombre et de la sévérité maximale des défauts se trouvant à l'intérieur d'une section de conduite. Le pointage rapide des défauts structuraux est calculé en utilisant uniquement les cotes (niveaux de sévérité) des défauts structuraux, tandis que le pointage rapide des défauts fonctionnels est calculé en utilisant uniquement les cotes (niveaux de sévérité) des défauts fonctionnels. Les quatre caractères utilisés sont explicités ci-après :

- le premier caractère est la cote (niveau de sévérité) la plus élevée que l'on retrouve parmi les défauts apparaissant le long de la conduite;
- le deuxième caractère est le nombre total d'occurrences de cette cote. Si le total excède 9, alors on utilise les caractères alphabétiques de la manière suivante : de 10 à 14 – A, de 15 à 19 – B, de 20 à 24 – C, etc.;
- le troisième caractère est la deuxième cote (niveau de sévérité) la plus élevée parmi les défauts apparaissant le long de la même conduite;
- le quatrième caractère est le nombre total d'occurrences de cette deuxième cote. Les mêmes règles qu'à l'étape B s'appliquent si le nombre total d'occurrences dépasse 9.

Exemple n° 1 : **4B27**

Zéro défaut	de cote 5
De 15 à 19 défauts	de cote 4
Zéro défaut	de cote 3
Sept défauts	de cote 2
Inconnu	de cote 1

Le pointage rapide permet, dès le premier regard, de conclure qu'aucun défaut de cote 5 ou de cote 3 n'est présent, mais que de 15 à 19 défauts de cote 4 et 7 défauts de cote 2 sont présents. Par contre, il est impossible de savoir s'il y a ou non des défauts de cote 1.

Exemple n° 2 : **3224**

Zéro défaut	de cote 5
Zéro défaut	de cote 4
Deux défauts	de cote 3
Quatre défauts	de cote 2
Inconnu	de cote 1

Le pointage rapide permet, dès le premier regard, de conclure qu'aucun défaut de cote 5 ou de cote 4 n'est présent, mais que 2 défauts de cote 3 et 4 défauts de cote 2 sont présents. Dans ce cas, il est impossible de se prononcer sur la présence ou non de défauts de cote 1.

Dans le cas où il y aurait plusieurs défauts de cote 5 et de cote 4 notés sur un tronçon de conduite, il serait alors impossible de savoir s'il y a des défauts de cote 3, 2 ou 1 sur ce même tronçon de conduite lorsqu'on utilise le pointage rapide.

Exemple n° 3 : **5446**

Quatre défauts	de cote 5
Six défauts	de cote 4
Inconnu	de cote 3
Inconnu	de cote 2
Inconnu	de cote 1

Si une section de conduite ne comporte que des défauts d'un niveau de cote donné, les deux premiers caractères représenteront la cote et le nombre de défauts, les deux derniers caractères seront des 00 (ne dénotant aucune catégorie de défaut). Une section de conduite sans défaut aurait un pointage rapide de 0000 (uniquement des zéros).

7 DÉTERMINATION DES INTERVENTIONS

Après avoir établi, à partir des indices d'état, les conduites qui demandent une analyse plus approfondie, plusieurs étapes doivent être réalisées pour recommander les interventions à effectuer. La méthodologie proposée comprend les quatre étapes suivantes :

- 1) Identifier l'ensemble des défauts présents à partir du visionnement de l'inspection télévisée de la section de conduite;
- 2) Identifier les interventions spécifiques requises pour corriger chacun des défauts, considérés individuellement;
- 3) Définir la solution la plus économique en considérant l'ensemble des interventions identifiées précédemment;
- 4) Choisir la solution intégrée la plus économique en considérant les autres infrastructures présentes (conduite d'eau potable, chaussée, etc.).

7.1 PREMIÈRE ÉTAPE : VALIDER LE RAPPORT DE L'INSPECTION TÉLÉVISÉE ET IDENTIFIER LES DÉFAUTS

Lorsque les anomalies et défauts ou les indices d'état révèlent que la pérennité de la conduite est menacée, une analyse plus approfondie est requise et cette dernière doit débiter par le visionnement de la vidéo d'inspection de la conduite.

Le visionnement de la vidéo d'inspection vise d'abord à confirmer que toutes les anomalies ont correctement été identifiées et notées dans le rapport, selon les règles du PACP. Il permet aussi de valider la qualité de la bande vidéo, d'identifier tous les raccordements et de confirmer que la section de la conduite a été inspectée sur toute sa longueur. Enfin, pour éviter une mauvaise localisation des interventions, il faudra confirmer que les regards amont et aval ont été correctement identifiés et que l'écoulement s'effectue conformément aux données indiquées dans le rapport d'inspection.

7.2 DEUXIÈME ÉTAPE : DÉFINIR LES INTERVENTIONS REQUISES POUR CORRIGER CHACUN DES DÉFAUTS OBSERVÉS

Après avoir validé le rapport d'inspection télévisée de la section de conduite et recueilli les informations nécessaires à l'analyse, un second visionnement devra être effectué, dans le but de déterminer les interventions requises pour corriger chacun des défauts rencontrés.

7.2.1 Défauts structuraux

Le type d'intervention sera déterminé en fonction de la gravité de la déficience analysée. On réfère ici au modèle de dégradation présenté au chapitre 2, à la page 14. Ainsi, lorsque le défaut est au premier stade de détérioration, un colmatage par injection est généralement approprié. Il permettra d'assurer l'étanchéité de la conduite, d'éviter sa détérioration ultérieure et de stabiliser le sol encaissant.

La réhabilitation structurale ou le remplacement s'avérera probablement une alternative plus appropriée pour corriger un défaut qui est au second ou au troisième stade de détérioration.

À titre indicatif, les déficiences ou conditions suivantes nécessitent des excavations ponctuelles ou complètes, dépendant de leur étendue et de leur occurrence dans la section :

- déformation > 10 %;
- joint décalé > 10 % du diamètre (PACP);
- objet saillant qui ne peut être alésé;
- changement du diamètre > 10 % du diamètre;
- trou ou vide moyen ou important.

Dans le cas où des interventions par excavation sont requises, il faut protéger les raccordements et les regards à proximité, ainsi qu'en valider leur état au préalable.

7.2.2 Défauts fonctionnels

En ce qui a trait aux défauts fonctionnels, il faudra déterminer si un nettoyage de la conduite est requis, s'il est nécessaire d'aléser les déficiences pouvant obstruer l'écoulement ou nuire à une éventuelle réhabilitation, ou encore s'il faut procéder à une excavation pour corriger le profil de la conduite qui serait déficient.

La présence de bas-fond, dans la plupart des cas, limite les travaux de réhabilitation. Un bas-fond important, qui provoque des refoulements de l'égout incommodant la population riveraine, devra faire l'objet d'une excavation pour permettre la correction du profil.

7.3 TROISIÈME ÉTAPE : DÉFINIR LA SOLUTION D'INTERVENTION POUR CORRIGER L'ENSEMBLE DES DÉFICIENCES RENCONTRÉES

Après avoir identifié les interventions requises pour corriger chacune des déficiences rencontrées, la prochaine étape consiste à déterminer la solution la plus économique pour corriger l'ensemble des déficiences. Pour ce faire, une estimation des coûts totaux des options possibles doit être réalisée. Les coûts totaux comprennent les coûts directs et les coûts socio-économiques. Les options possibles sont les suivantes :

- intervenir de façon ponctuelle, selon les interventions identifiées à l'étape précédente;
- réhabiliter toute la section; une variante consiste à réaliser un remplacement local et une réhabilitation complète;
- remplacer toute la section.

Les informations suivantes sont nécessaires pour l'analyse économique des options :

- la longueur de la section;
- le diamètre;
- le nombre total de joints (pour évaluer les travaux de colmatage);
- le nombre de raccordements;
- le nombre et la longueur des interventions de chemisage;
- le nombre et la longueur des interventions par excavation;
- le nombre d'interventions d'alésage nécessaires.

Les plaintes et les interventions d'entretien doivent aussi être considérées pour optimiser les interventions. Ainsi, si le tronçon à l'étude fait l'objet de plaintes récurrentes de refoulement ou si le nettoyage de la section doit être effectué sur une base régulière, il est possible que le remplacement de la section soit requis. Le diamètre ou la pente pourra être augmenté pour répondre aux besoins fonctionnels, c'est-à-dire de capacité hydraulique.

7.4 QUATRIÈME ÉTAPE : DÉTERMINER LA SOLUTION LA PLUS ÉCONOMIQUE EN CONSIDÉRANT LES AUTRES INFRASTRUCTURES PRÉSENTES

Ayant en main les choix d'intervention optimums pour la section d'égout, il faut maintenant considérer l'état des autres infrastructures présentes. Advenant le cas où des interventions sont nécessaires pour maintenir ces infrastructures en bon état, il

faudra alors réévaluer la rentabilité des interventions proposées à la troisième étape, conjointement avec les interventions planifiées aux infrastructures adjacentes.

Il n'existe aucune règle permettant de créer un algorithme décisionnel universel. Les conditions inhérentes à chaque site d'intervention et les interventions requises sur les infrastructures adjacentes doivent être analysées pour définir la solution intégrée la plus économique.

À titre d'exemple, la réhabilitation structurale complète de l'égout sur un tronçon où la conduite d'eau potable et la structure de chaussée doivent être reconstruites, pourrait devenir une solution intégrée moins économique que son remplacement. Par contre, si cette même conduite se trouvait à plus de quatre mètres de la conduite d'eau potable, sa réhabilitation demeurerait sans doute la solution intégrée la plus économique.

8 CAS PRATIQUES

Dans les prochains paragraphes, deux cas pratiques permettront d'illustrer la méthodologie présentée. Seules les étapes 2 et 3 de la méthodologie présentée au chapitre 7 seront abordées.

Dans chaque sous-chapitre, le résultat de l'inspection télévisée d'une section de conduite est présenté sous forme de tableau. Dans chacun des tableaux, les pointages fonctionnel et structural associés à chacun des défauts identifiés ainsi que les interventions permettant de les corriger, le tout tel qu'expliqué à la deuxième étape (chapitre 7.2), sont inscrits. Chaque exercice est accompagné de photos illustrant les défauts et d'explications sur les interventions suggérées.

Les rapports d'inspection ont été présentés de manière à faciliter leur interprétation. Sur certaines lignes, deux pointages sont indiqués. Ceci s'explique par le fait qu'il y a deux déficiences distinctes à cet endroit (p. ex. un raccordement déficient et pénétrant aura deux pointages fonctionnels).

Nous identifions, dans le tableau ci-dessous, le pointage rapide et le pointage maximal pour chaque exercice. Les chiffres entre parenthèses représentent les pointages liés à l'aspect fonctionnel, tandis que les autres réfèrent au pointage structural.

Tableau 9 – Cotes rapide et maximale pour les conduites des exercices 1 et 2

Pointage	Exercice n° 1 Structural (fonctionnel)	Exercice n° 2 Structural (fonctionnel)
Rapide	5522 (3325)	4121 (4132)
Maximal	5 (3)	4 (4)

8.1 EXERCICE N°1

Tableau 10– Exercice pratique n° 1

Diam. (mm)	Long. (m)	Mat.	Photo n°	Plan n°	R.L. ¹ n°	Chaînage (m)	Description de la déficience	Pointage		Intervention suggérée
								Fonctionnel	Structural	
455	18,0	BA	1			0,0	Armature visible de 8 h à 9 h		5	Cimentage et colmatage par injection
			2			1,4	Raccordement à la masse défectueux pénétrant 25 mm actif à 1 h Dépôts attachés incrustation 0 % de 1 h à 4 h au raccordement Suintement à 1 h au raccordement Armature visible de 1 h à 3 h au raccordement	3,2 2 2	5	Alésage et colmatage par injection
			3			3,6	Éclat de surface à 2 h avec trou et sol apparent		2	Colmatage par injection
			4			3,8	Raccordement à la masse défectueux pénétrant 50 mm actif à 11 h Armature visible de 10 h à 12 h au raccordement	3,2	5	Alésage et colmatage par injection
			5			4,2	Joint décalé moyen		1	Chemisage structural localisé sur 1,0 m de 3,7 à 4,7 m
			6			11,1	Raccordement à la masse défectueux pénétrant 50 mm actif à 10 h Armature visible de 9 h à 11 h au raccordement	3,2	5	Alésage et chemisage structural localisés sur 1,0 m de 10,6 à 11,6 m
			7			12,6	Éclat de surface à 1 h Armature visible à 1 h		2 5	Chemisage structural localisé sur 1,0 m de 12,1 à 13,1 m
			8			14,2	Joint décalé moyen		1	Chemisage structural localisé sur 1,0 m de 13,7 à 14,7 m
								18,0	Fin de l'inspection	

¹Réparation locale

8.1.1 Intervention pour corriger chaque défaut (étape 2)

Une fois le rapport validé et la notation de l'ensemble des déficiences vérifiée, la prochaine étape consiste à définir le mode d'intervention approprié pour corriger chacune des déficiences.

Dans les prochains paragraphes, chacune des déficiences notées sera évaluée et les raisons justifiant le choix du mode d'intervention proposé seront exposées.



Figure 61 – (Photo 1) Armature visible de 8 h à 9 h

(Référence photo 1) Compte tenu que ce défaut se trouve au raccordement de la conduite avec le regard, il est possible d'effectuer une intervention manuelle pour étancher le joint et protéger l'armature. Par conséquent, on pourra d'abord procéder à un colmatage par injection pour rendre le joint étanche et, par la suite, faire un cimentage manuel avec un mortier approprié.



Figure 62 – (Photo 2) - Raccordement à la masse défectueux et pénétrant / Dépôts attachés - incrustation / Armature visible / Suintement

(Référence photo 2) L'alésage des dépôts attachés (incrustation) et du raccordement pénétrant est requis. Les anomalies identifiées démontrent clairement que le raccordement est non étanche et il est souhaitable de procéder à un colmatage par injection. Malgré que l'armature soit apparente à cet endroit, il n'est pas nécessaire de procéder à une intervention structurale étant donné que la structure de la conduite n'est pas affectée.



Figure 63 – (Photo 3) Éclat de surface avec trou et sol apparents

(Référence photo 3) Compte tenu que le trou est de très petite dimension, qu'il ne semble pas y avoir présence de vide important à l'arrière de la paroi et qu'aucune autre déficience n'est présente au pourtour du trou, un colmatage par injection sera suffisant afin d'empêcher toute infiltration d'eau et le lessivage des particules fines de l'enrobage de la conduite.



Figure 64 – (Photo 4) Raccordement à la masse déféctueux et pénétrant - Armature apparente

(Référence photo 4) On note plusieurs défauts : raccordement déficient, présence de sol et de vides apparents au pourtour du raccordement ainsi qu'armature apparente de la conduite principale sous le radier du raccordement. Un colmatage par injection comblera les vides et étanchera le raccordement. Considérant l'ampleur de la zone d'exposition de l'armature et le fait qu'aucun autre défaut structural n'origine de ce point, aucune intervention d'ordre structural n'est requise.



Figure 65 – (Photo 5) Joint décalé moyen

(Référence photo 5) Considérant que le joint décalé moyen est sur le point de laisser paraître le sol et considérant que l'écoulement favorise le minage de l'assise de la section de conduite en aval, un chemisage structural ponctuel serait souhaitable afin de redonner à ce joint la capacité structurale nécessaire pour résister aux charges. Le chemisage est possible étant donné que le joint est décalé de moins de 10 % du diamètre. Il serait préférable de procéder à un colmatage par injection au préalable afin de combler tout vide qui pourrait être présent. Cette intervention permettra d'éviter tout déplacement différentiel ultérieur.



Figure 66 – (Photo 6) - Raccordement pénétrant avec armature visible sous le radier

(Référence photo 6) On devra procéder à l'alésage du raccordement pénétrant. Les anomalies identifiées démontrent clairement que le raccordement est non étanche et, par conséquent, il sera souhaitable de procéder à un colmatage par injection. Malgré que l'armature soit apparente à cet endroit, il n'est pas nécessaire de procéder à une intervention structurale étant donné que la structure de la conduite n'est pas affectée.



Figure 67 – (Photo 7) Éclat de surface avec armature visible

(Référence photo 7) Considérant le potentiel de détérioration et la dimension de cette déficience, un chemisage structural ponctuel de 1,0 mètre est recommandé.



Figure 68 – (Photo 8) Joint décalé moyen

(Référence photo 8) Considérant que le joint décalé moyen est sur le point de laisser paraître le sol, un chemisage structural ponctuel de 1,0 mètre serait souhaitable afin de redonner à ce joint la capacité structurale nécessaire pour résister aux charges. Le chemisage est possible étant donné que le joint est décalé de moins de 10 % du diamètre. Un colmatage par injection au préalable serait souhaitable pour combler les vides qui pourraient exister au pourtour de la conduite.

8.1.2 Identification de la solution la plus économique (étape 3)

Après avoir déterminé les interventions requises pour corriger chaque déficience ponctuelle, la prochaine étape consiste à établir la solution la plus économique. Dans ce cas, les coûts de deux solutions doivent être évalués et comparés : la solution de réhabiliter la conduite sur toute sa longueur par chemisage structural ou la solution d'intervenir ponctuellement sur chaque défaut.

Le coût d'un chemisage structural pour cette conduite de 450 mm sur toute sa longueur est estimé comme suit :

- 18,0 mètres linéaires X 475 \$/mètre²¹ = 8 550 \$
 - colmatage par injection²¹ des raccordements : 3 unités X 460 \$ = 1 380 \$
- 9 930 \$

Le coût des interventions ponctuelles est estimé comme suit :

- 3 chemisages ponctuels de 1,0 m X 2 750 \$ = 8 250 \$
 - colmatage par injection des joints : 8 unités X 260 \$ = 2 080 \$
 - colmatage par injection des raccordements : 3 unités X 460 \$ = 1 380 \$
- 11 710 \$

Il ressort clairement qu'un chemisage de toute la conduite est la solution la plus économique.

²¹ Le coût ne considère que les travaux de réhabilitation proprement dits. On doit ajouter à ce coût tous les travaux connexes tels que le nettoyage, le pompage, la dérivation, la signalisation, etc.

8.2 EXERCICE N° 2

Tableau 11 – Exercice pratique n° 2

Diam. (mm)	Long. (m)	Mat.	Photo n°	Plan n°	R.L. n°	Chaînage (m)	Description de la déficience	Pointage		Intervention suggérée	
								Fonctionnel	Structural		
305	20,9	BA	1			4,9	Trou de 3 h à 5 h au joint		4	Colmatage par injection	
			2		1	8,6	Joint ouvert important (S01) Bas-fond (50 %)		2	1	Réparation locale par excavation du chaînage 8,6 m au chaînage 11,0 m
						9,7	Joint décalé moyen				
						11,0	Joint décalé moyen (F01) Bas-fond (50 %)				
			3			12,5	Raccordement à la masse défectueux à 2 h Obstrué 10 %	3		Colmatage par injection	
			4			19,8	Raccordement à la masse défectueux pénétrant 75 mm actif à 10 h	3,4		Alésage et colmatage par injection	
						20,9	Fin de l'inspection				

8.2.1 Interventions pour corriger chaque défaut (étape 2)



Figure 69 – (Photo 1) Trou au joint

(Référence photo 1) On note que l'embout mâle est brisé. Cette déficience, qui est possiblement présente depuis l'installation de la conduite, rend probablement non étanche le joint compte tenu de sa dimension. Par conséquent, un essai d'étanchéité du joint suivi d'un colmatage par injection au besoin sera nécessaire.

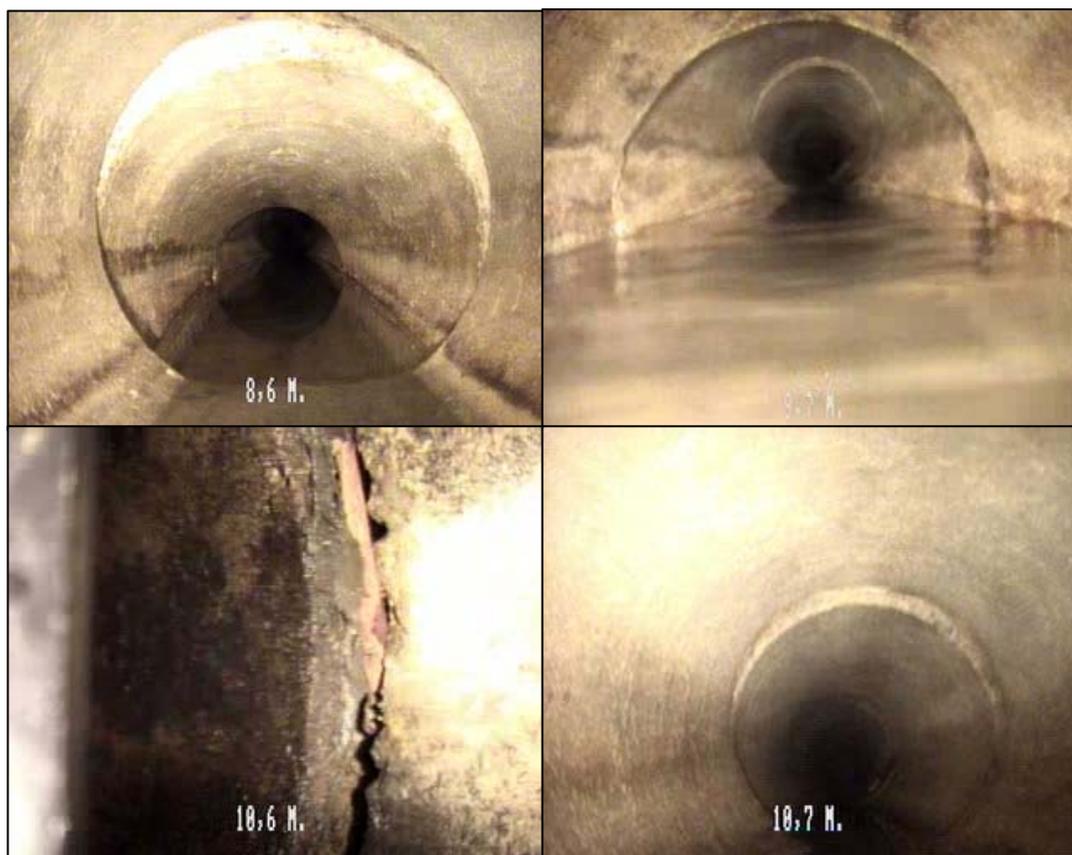


Figure 70 – (Photo 2) - Joints décalés moyens

(Référence photo 2) Ces déficiences provoquent un bas-fond de près de 50 %. Les joints, comme le montrent les photos ci-dessus, sont décalés au point de laisser paraître le sol. Il semble aussi plausible que des vides soient présents dans l'enrobage de la conduite. Par conséquent, afin de corriger le profil et de combler les vides qui peuvent être présents, la seule intervention possible est alors l'excavation. Une intervention localisée par excavation devra être réalisée sur une longueur de 2,4 m.



Figure 71 – (Photo 3) Raccordement obstrué

(Référence photo 3) On note un dépôt qui est susceptible d'obstruer l'écoulement dans ce raccordement. Un nettoyage du raccordement est recommandé.



Figure 72 – (Photo 4) Raccordement pénétrant et défectueux

(Référence photo 4) Ce raccordement doit être alésé et colmaté par injection afin d'en assurer l'étanchéité et d'éviter l'entraînement de particules fines de l'enrobage de la conduite.

8.2.2 Identification de la solution la plus économique (étape 3)

Après avoir déterminé les interventions requises pour corriger chaque déficience ponctuelle, la prochaine étape consiste à identifier la solution la plus économique. Comme dans le cas précédent, les coûts de deux solutions doivent être évalués et comparés : la solution de réhabiliter la conduite sur toute sa longueur par chemisage structural ou la solution d'intervenir ponctuellement sur chaque défaut.

Dans l'évaluation budgétaire ci-après, le remplacement ponctuel de 2,4 m ne sera pas considéré puisqu'il est requis pour une solution comme pour l'autre et que son coût est le même pour les deux options.

Le coût d'un chemisage structural pour cette conduite de 300 mm sur toute sa longueur est estimé comme suit :

- 21,0 mètres linéaires X 325 \$²² du mètre = 6 825 \$
 - colmatage par injection des raccordements : 2 unités X 350 \$ = 700 \$
- 7 525 \$

Le coût des interventions ponctuelles est estimé comme suit :

- colmatage par injection des joints : 18 unités X 200 \$ = 3 600 \$
 - colmatage par injection des raccordements : 2 unités X 350 \$ = 700 \$
- 4 300 \$

Contrairement au cas précédent, les interventions ponctuelles s'avèrent plus économiques que le chemisage structural de toute la conduite.

²² Ce coût ne considère que le chemisage proprement dit. On doit ajouter à ce coût tous les travaux connexes tels que le nettoyage, le pompage, la dérivation, la signalisation, etc.

9 CONCLUSION

Pour rendre possible une planification efficace et la gestion optimale des réseaux d'égouts, chaque intervenant doit saisir toutes les opportunités de cueillir les données essentielles à la compréhension des mécanismes de dégradation des conduites, tout en s'assurant de la qualité de ces données. Plus le gestionnaire détiendra de données pertinentes et de qualité, mieux il comprendra les mécanismes de dégradation associés aux défauts rencontrés dans les conduites et plus les choix d'intervention seront faciles à faire. Cette connaissance le mènera à une prise de décisions technique et financière plus efficace et plus rentable pour les citoyens.

Nous avons tenté, à travers les différents chapitres de ce document, de répertorier les défauts les plus courants que l'on retrouve dans les différents types de conduites d'eaux usées, d'identifier les mécanismes qui les causent et les processus qui mènent ultimement à leur effondrement.

Nous avons aussi discuté, de façon non exhaustive, des techniques d'auscultation et de réhabilitation fréquemment utilisées au Québec et qui sont disponibles auprès de plusieurs entreprises spécialisées et expérimentées. Le lecteur pourra compléter ses connaissances en consultant les publications du CERIU qui présentent, de façon plus complète, les technologies que proposent les entreprises spécialisées du domaine.

Déterminer le mode d'intervention optimal n'est pas une simple tâche qui s'exécute telle une recette. Chaque conduite doit être considérée comme un individu ayant sa propre histoire et nécessitant un « plan de traitement » spécifique.

Les conditions de dégradation liées aux environnements interne et externe de la conduite, discutés dans ce guide, influencent le choix des interventions. La méthode d'analyse proposée requiert une bonne connaissance des modes de dégradation des conduites et de l'impact des déficiences sur le taux de dégradation.

Les techniques d'intervention sont variées et leur mise en œuvre judicieuse permet d'optimiser le coût d'intervention et de prolonger la durée de vie des infrastructures. Un suivi rigoureux et des interventions bien planifiées permettront à tout gestionnaire de réduire le coût global des infrastructures d'égout sur leur cycle de vie.

Finalement, tout n'a pas été dit, le lecteur intéressé pourra consulter les textes de référence qui sont indiqués dans la bibliographie et qui ont grandement inspiré les auteurs dans la réalisation de ce document.

10 BIBLIOGRAPHIE

CERIU/NASSCO, Programme du PACP, Certification visant l'évaluation de l'état des conduites Version 4.3.1.1 VF, CERIU, 2009.

Condition Assessment and Rehabilitation of Large Sewer, Mc Donald, S.E., Zhao, J.Q., NRCC-44696, Waterloo, 2001.

GNIMD, Prévention ou réduction de l'infiltration et de l'eau de captage dans les réseaux collecteurs d'eaux usées, mars 2003.

GNIMD, Contrôle à la source des eaux usées, mars 2003.

GNIMD, Choix de techniques de réhabilitation ou de remplacement de conduites d'égout, mars 2003.

GNIMD, Examen et évaluation d'un réseau de collecte d'eaux pluviales ou d'eaux usées, août 2004.

« *Guide d'évaluation et de réhabilitation des égouts collecteurs* », Zhao, Jack Q., McDonald, Shelley E., Kleiner, Yehuda, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches Canada, 2001, 90 pages.

Manual of Practices, Wastewater Collection Systems. NASSCO, 1996, Second Edition

Recommandations pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement, AGHTM, N° hors série, 93^e année, 1998, Coordonnateur Jean-Michel Bergue.

Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewers, Dietrich Stein, Ernst and Sohn, 2001

Sewer Physical Condition Classification Manual, The city of Edmonton Transportation Drainage Engineering Section, 1996.

Sewerage Rehabilitation Manual, WRC, 1989.

Standard Sewer Condition Rating System Report, The city of Edmonton Transportation Drainage Engineering Section, 1996.

Underground Infrastructure Research, Municipal, Industrial and Environmental Applications, Edited by Mark Knight and Neil Thompson, Department of Civil Engineering, University of Waterloo, On, Canada.