NRC·CNRC

NRC Publications Archive
Archives des publications du CNRC

Guide d'évaluation et de réhabilitation des égouts collecteurs

Zhao, J. Q.; McDonald, S. E.; Kleiner, Y.

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

https://doi.org/10.4224/40003130

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :
https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=b620043c-69bb-4047-b6a8-c4693c61ecd0
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=b620043c-69bb-4047-b6a8-c4693c61ecd0

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at
https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright
READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits
LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

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

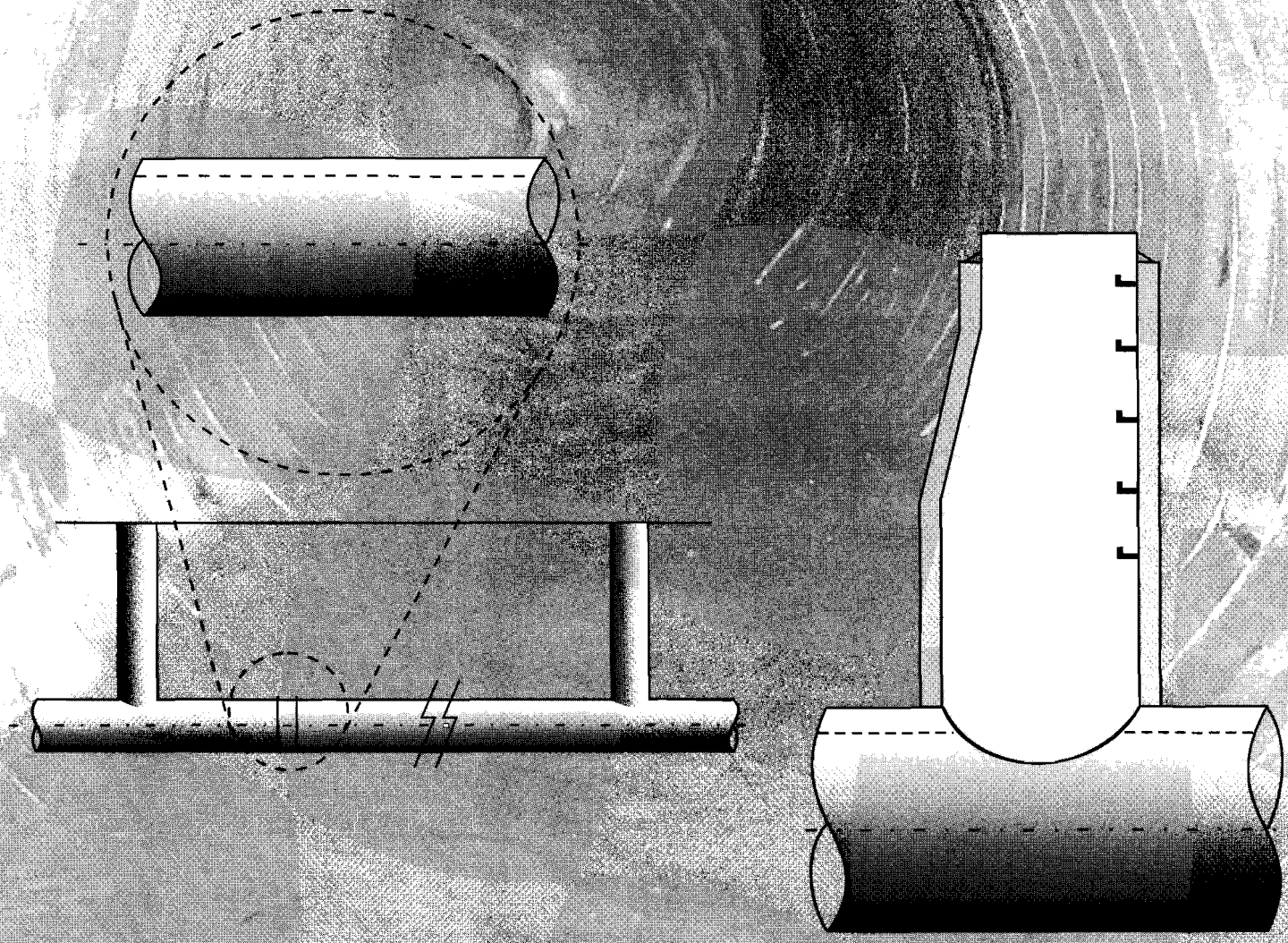
National Research Council Canada | Conseil national de recherches Canada

Canada

Conseil national de recherches Canada
National Research Council Canada

CNRC · NRC

Guide d'évaluation et de réhabilitation des égouts collecteurs



Publié par

Institut de recherche en construction IRC

INSTITUT DE RECHERCHE EN CONSTRUCTION

L'Institut de recherche en construction (IRC), une composante du Conseil national de recherches du Canada, est le chef de file canadien en matière de recherche, de technologie et d'innovation dans le domaine de la construction. L'Institut oriente ses efforts vers le service direct aux clients. En ce sens, il forme des partenariats et des consortiums qui l'aident à rendre les lieux de travail, les habitations et les infrastructures publiques canadiennes plus sécuritaires, confortables et résistants. En outre, il encourage les manufacturiers, les entrepreneurs et les concepteurs professionnels canadiens à innover davantage et à devenir plus concurrentiels sur le marché.

L'Institut collabore avec ses partenaires industriels et avec les gouvernements des provinces et territoires en vue de concevoir les codes nationaux de construction en vigueur au Canada. Ces codes, qui servent à l'échelle du pays, visent à assurer la sécurité et la fiabilité des pratiques en cours dans le domaine de la construction. Grâce à son service national d'évaluation, l'Institut peut déterminer si les nouveaux produits et systèmes de construction reflètent l'esprit des codes. Cette approche favorise l'acceptation rapide de produits et systèmes innovateurs par les instances réglementaires canadiennes ou étrangères et, de façon générale, par le marché.

Dans le but de faire connaître les nouvelles technologies de construction aux membres de l'industrie, l'IRC publie des documents, organise des ateliers et utilise les médias électroniques. De plus, il collabore étroitement avec le Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) du CNRC pour faciliter l'accès des entreprises de construction des quatre coins du pays aux technologies nouvelles qui leur permettront de devenir plus concurrentielles.

Renseignements généraux :

Institut de recherche en construction	Téléphone : (613)993-2607
Conseil national de recherches du Canada	Télécopieur : (613)952-7673
Ottawa, Ontario K1A 0R6	Internet :http://www.cnrc.ca/irc

On peut avoir accès à l'IRC, dans les différentes régions du Canada, grâce aux conseillers en technologie industrielle du PARI.

Guide d'évaluation et de réhabilitation des égouts collecteurs

Jack Q. Zhao, Ph.D., ing., Chef de projet

Shelley E. McDonald, ing.

Yehuda Kleiner, Ph.D., ing.

Publié par :

Institut de recherche en construction

Conseil national de recherches du Canada

Ottawa, Canada

K1A 0R6

DÉNI DE RESPONSABILITÉ DU CNRC

AVIS CONFORME À LA LOI

Les présentes lignes directrices ont été élaborées par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) à titre de compte rendu des travaux commandités par les partenaires dont les noms sont cités à la page suivante. Le CNRC, son personnel, le personnel des organisations participantes et leurs représentants :

a) n'offrent aucune garantie et ne font aucune assertion, expresse ou implicite, quant à l'exactitude, à l'exhaustivité ou à l'utilité de l'information contenue dans les présentes lignes directrices, non plus qu'à la possibilité que l'usage des appareils, méthodes et processus présentés dans ce document viole des droits détenus par des intérêts privés;

(b) n'assument aucune responsabilité à l'égard de l'usage ou des dommages découlant de l'usage de l'information, des appareils, des méthodes ou des procédés présentés dans ces lignes directrices.

Les références à des noms de commerce ou à des produits, marchandises ou services précis ne signifient pas que ceux-ci sont homologués, recommandés ou privilégiés par le CNRC.

©2001 Conseil national de recherches Canada
Tout droits réservés
Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, sous quelque forme que ce soit, sans la permission écrite du Conseil national de recherches du Canada.

NRCC 45130F
NR35-25/2001F
ISBN 0-660-96584-4

REMERCIEMENTS

Le présent guide a été élaboré grâce à la précieuse collaboration des membres suivants du comité directeur. Le projet a été financé conjointement par le Conseil national de recherches du Canada ainsi que par les municipalités et les entreprises privées représentées par les membres du comité directeur.

Membres du comité directeur	**Organisations participantes**
Reg Andres, ing.	R.V. Anderson Associates Limited
Mark Andrews, ing.	M.E. Andrews & Associates Limited
Russ Black, ing.	District régional de Vancouver
Terry Fedick, ing.	Ville de Calgary
Wayne Green, ing.	Ville de Toronto
John Hodgson, Ph.D., ing.	Ville d'Edmonton
Betty Matthews-Malone, ing.	Ville de Hamilton
Seamus McDonnell, ing.	District régional de la capitale (Victoria, C.-B.)
Ross Newman	Ville de Waterloo
Gary Nieminen, ing.	Ville de Régina
Balvant Rajani, Ph.D., ing.	IRC/CNRC
Cal Sexsmith, ing.	Ville de Saskatoon
Gerry Taylor, ing.	Ville d'Ottawa

Les personnes suivantes ont aussi collaboré à l'élaboration du guide :

	Organisations
Ken Collicott, ing.	R.V. Anderson Associates Limited
Gerald Bauer, ing.	R.V. Anderson Associates Limited
Art Lingren, ing.	District régional de Vancouver
Rob Neroutsos, ing.	District régional de Vancouver
Gord Baguley, ing.	Ville de Hamilton
Ken Chua, ing.	Ville d'Edmonton

Les observations et commentaires formulés au cours du séminaire présenté dans tout le Canada en 2000 par l'IRC ont également enrichi le présent guide.

Nous tenons aussi à remercier M. Joseph Loiacono du Centre d'Expertise et de Recherche en Infrastructures Urbaines (CERIU) et Mme Lyne Daigle du Conseil national de recherches du Canada pour la révision et la critique de la version française du document.

Table des matières

1. Généralités 1
   1.1 Introduction 1
   1.2 Portée 2
   1.3 Terminologie 2
2. Santé et sécurité 5
3. Évaluation de l'incidence d'une rupture 7
   3.1 Évaluation de l'incidence de rupture d'une conduite d'égout 7
      3.1.1 Détermination de l'incidence de rupture 7
      3.1.2 Emplacement du collecteur 8
      3.1.3 Sol d'enrobage 10
      3.1.4 Dimensions du collecteur 10
      3.1.5 Profondeur d'enfouissement 10
      3.1.6 Fonction du collecteur 11
      3.1.7 Zone sismique 11
   3.2 Évaluation des incidences de rupture de regard 11
   3.3 Cotes d'incidence de rupture et établissement des priorités 11
4. Inspection 13
   4.1 Calendrier et fréquence d'inspection 13
      4.1.1 Inspection initiale 13
      4.1.2 Inspection subséquente 14
   4.2 Inspection pleine longueur 14
      4.2.1 Télévision en circuit fermé 15
      4.2.2 Sonar et caméra de télévision en circuit fermé 16
      4.2.3 Inspection visuelle 17
      4.2.4 Caméra fixe 17
      4.2.5 Nouvelles techniques d'inspection 17
   4.3 Techniques spéciales d'inspection 18
      4.3.1 Échosondeur rotatif 18
      4.3.2 Inspection par plongeurs 18
      4.3.3 Système mécanique d'auscultation des conduites (MAC) 18
      4.3.4 Inspection au-delà les parois des conduites (détection des vides) 18
   4.4 Méthodes d'essais en conduite 19
      4.4.1 Méthodes d'essais nécessitant l'entrée de personnel 20
      4.4.2 Autres méthodes d'inspection 20
5. Évaluation de l'état des conduites 21
   5.1 Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs (SÉCGC) 21
   5.2 Codage des défauts structuraux des conduites 22
      5.2.1 Cassure (F) 23
      5.2.2 Fissures (C) 25
      5.2.3 Déformation (D) 25
      5.2.4 Effondrement (X) 27
      5.2.5 Bris de conduite (B) 27
      5.2.6 Déplacements de joints (JD) 27
      5.2.7 Ouverture de joint (JO) 28
      5.2.8 Dommage superficiel (H) 29
      5.2.9 Affaissement (S) 29
   5.3 Coefficients de pondération des défauts structuraux 31

5.4 Codage des défauts des collecteurs en briques ... 31
5.4.1 Déplacement de briques (DB) ... 33
5.4.2 Briques manquantes (MB) ... 33
5.4.3 Mortier manquant (MM) ... 33
5.4.4 Abaissement du radier (DI) ... 33
5.5 Codage des défauts fonctionnels ... 33
5.5.1 Racines (R) ... 34
5.5.2 Débris (DE) ... 34
5.5.3 Incrustation (E) ... 34
5.5.4 Raccordement pénétrant (P) ... 35
5.5.5 Infiltrations (I) ... 36
5.6 Coefficients de pondération des défauts fonctionnels ... 36
5.7 Cote d'état des conduites ... 36
5.8 État observé au cours des inspections précédentes ... 37
5.9 Évaluation des collecteurs réhabilités ... 37
6. Réhabilitation d'une conduite ... 39
6.1 Décision quant à la nécessité des travaux ... 39
6.2 Choix des techniques de réhabilitation ... 39
6.3 Options de réhabilitation ... 41
6.3.1 Injection de coulis à l'intérieur et à l'extérieur ... 41
6.3.2 Réparations ponctuelles ... 41
6.3.3 Revêtement ... 42
6.3.4 Remplacement de la conduite ... 45
6.3.5 Excavation et remplacement des conduites ... 46
6.4 Coûts estimatifs des techniques de réhabilitation ... 46
7. Évaluation et réhabilitation des regards ... 47
7.1 Système d'évaluation et de codage des regards ... 47
7.1.1 Défauts des regards ... 47
7.1.2 Codage de l'état physique ... 48
7.1.3 Cotes d'état structural et fonctionnel ... 50
7.2 Réhabilitation des regards à partir de la cote d'état structural ... 50
7.3 Méthodes de réhabilitation pour les regards ... 51
7.4 Autres facteurs ... 51
7.4.1 Dimensions des regards ... 51
7.4.2 Distance entre les regards ... 52
8. Gestion des données ... 53
8.1 Introduction ... 53
8.2 Structure de la base de données ... 53
8.3 Accès aux données, mise à jour et maintenance ... 58
9. Résumé et conclusions ... 61
Références ... 63
Annexe A : Tables de conversion des codes de défaut ... 67
Annexe B : Prédiction de l'état des égouts – méthodes quantitatives ou fondées sur le risque ... 71
B.1 Généralités ... 71
B.2 MÉDIC 98 ... 71
B.3 Méthode factorielle ISO/CD ... 73
B.4 Méthode d'analyse en chaînes de Markov ... 75
B.5 Prédiction de la vitesse de corrosion des égouts en béton ... 75
B.6 Démarche semi-markovienne d'établissement des calendriers de réhabilitation et d'inspection des gros collecteurs ... 76
B.7 Résumé ... 79

Liste des tableaux

Tableau 3.1 Principaux facteurs influant sur l'incidence de rupture 7
Tableau 3.2 Facteurs d'incidence de rupture et coefficients de pondération 8
Tableau 3.3 Cote d'incidence de rupture 8
Tableau 3.4 Facteur d'emplacement du collecteur* 9
Tableau 3.5 Facteur de sol d'enrobage* 10
Tableau 3.6 Facteur de dimension du collecteur* 10
Tableau 3.7 Facteur de profondeur d'enfouissement* 10
Tableau 3.8 Facteur de fonction du collecteur* 11
Tableau 3.9 Facteur de zone sismique[42] 11
Tableau 4.1 Calendrier d'inspection établi en fonction des cotes d'état et d'incidence de rupture du collecteur 14
Tableau 4.2 Techniques d'inspection pleine longueur 15
Tableau 4.3 Techniques spéciales d'inspection 17
Tableau 5.1 Principaux défauts structuraux de divers types de conduites 23
Tableau 5.2 Défauts structuraux, codes et coefficients de pondération pour les conduites 30
Tableau 5.3 Défauts structuraux, codes et coefficients de pondération pour les collecteurs en briques 32
Tableau 5.4 Défauts fonctionnels, codes et coefficients de pondération pour les conduites 35
Tableau 5.5 Cote d'état structural des collecteurs (longueur d'évaluation = 1 m) 37
Tableau 5.6 Cote d'état fonctionnel des collecteurs (longueur d'évaluation = 1 m) 37
Tableau 6.1 Niveaux de priorité des travaux de réhabilitation 39
Tableau 6.2 Modèle de tableau de consignation des données de réhabilitation 40
Tableau 6.3 Exemples de coûts de réhabilitation fondés sur des études de cas 43
Tableau 6.4 Coûts de réhabilitation (par rapport à la conduite poussée en tunnel) 45
Tableau 7.1 Défauts structuraux, codes et coefficients de pondération pour les regards 49
Tableau 7.2 Codes d'état fonctionnel et coefficients de pondération pour les regards 50
Tableau 7.3 Cote d'état structural des regards 50
Tableau 7.4 Cote d'état fonctionnel des regards 50
Tableau 7.5 Cotes d'état structural, répercussion et mesure recommandées pour les regards ... 51
Tableau 7.6 Défauts et méthodes de réhabilitation pour les regards 52
Tableau 8.1 Zones de saisie d'une table de données d'inventaire sur les conduites 56
Tableau 8.2 Zones de saisie d'une table de données d'inventaire sur les regards 56
Tableau 8.3 Exemple de table de données sur les conduites : codes de défauts structuraux et fonctionnels et notes 57
Tableau 8.4 Exemple de table de données sur les regards : codes de défauts structuraux et fonctionnels et notes 57
Tableau 8.5 Exemple de résultats d'interrogation sur des conduites affichant des cotes d'état de 4 et de 5 58
Tableau 8.6 Exemple de résultats d'interrogation sur des regards affichant des cotes d'état de 4 et de 5 58
Tableau A1 Conversion du code d'état structural des systèmes employés par la Ville d'Edmonton et le WRc au Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs 68
Tableau A2 Conversion des codes d'état fonctionnel des systèmes de la Ville d'Edmonton et du WRc au SÉCGC 69
Tableau B1 Durées de vie théoriques suggérées 73
Tableau B2 Durées de vie théoriques suggérées pour divers matériaux de conduites 74

Liste des figures

Figure 1.1 Étapes de gestion des collecteurs 1
Figure 3.1 Exemple de facteur d'emplacement 9
Figure 3.2 Cote d'incidence de rupture d'un regard 12
Figure 3.3 Modèle de carte d'incidences 12
Figure 5.1 Unités primaires et secondaires du Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs 21
Figure 5.2 Positionnement horaire pour l'inspection et l'évaluation de l'état des collecteurs 22
Figure 5.3 Cassures longitudinales 23
Figure 5.4 Cassures diagonales dues à un support insuffisant 24
Figure 5.5 Déformation d'une conduite flexible 26
Figure 5.6 Relation entre la variation de diamètre et la variation d'aire 26
Figure 5.7 Modes d'effondrement des conduites rigides et flexibles 27
Figure 5.8 Déplacement d'un joint 27
Figure 5.9 Ouverture de joint avec déplacement longitudinal 28
Figure 5.10 Ouverture de joint avec déplacement angulaire 29
Figure 5.11 Intrusion de racines dans un collecteur 34
Figure 5.12 Incrustations dans un collecteur 35
Figure 6.1 Coût des gaines durcies sur place en fonction du diamètre de conduite 45
Figure 7.1 Vue en élévation de regards types 48
Figure 7.2 Système de positionnement horaire pour les regards 48
Figure 8.1 Structure de la base de données sur les conduites et les regards 53
Figure 8.2 Liens entre les tables de données 54
Figure 8.3 Exemple d'écran d'entrée de données à listes déroulantes 55
Figure B1 Diagrammes de probabilité pour la détérioration 72
Figure B2 Exemple de distributions cumulatives de temps d'attente 77
Figure B3 Exemple de courbes des coûts 77

1. Généralités

1.1 Introduction

Les réseaux de collecteurs d'égout sont des éléments essentiels des services municipaux. Pour obtenir des niveaux élevés de fiabilité au moindre coût, il faut mettre en place des systèmes et des méthodes de gestion des actifs qui incluent des procédés d'évaluation et de réhabilitation efficaces.

Ce guide s'applique aux gros collecteurs (900 mm et plus) et propose aux propriétaires et aux exploitants de réseaux d'égout des méthodes qui leur permettront de mieux gérer l'évaluation et la réfection des gros collecteurs. Ce guide porte sur les aspects suivants :

- Questions de santé et de sécurité dont on doit tenir compte lors des inspections et des réparations
- Disponibilité, applicabilité et limites des technologies existantes d'inspection, d'évaluation et de réhabilitation
- Évaluation des incidences des ruptures
- Collecte de données fiables et gestion de l'information
- Processus décisionnel fondé sur l'état et les incidences d'une rupture des collecteurs
- Prévision de l'état des collecteurs
- Coût estimatif de l'inspection et de la réfection des collecteurs et des regards.

La figure 1.1 indique les étapes d'une gestion efficace des gros collecteurs ainsi que les sections correspondantes dans ce guide. Les problèmes de santé et de sécurité que posent les travaux exécutés dans l'espace clos d'un égout sont exposés à la section 2. L'annexe A renferme des tables de conversion des codes

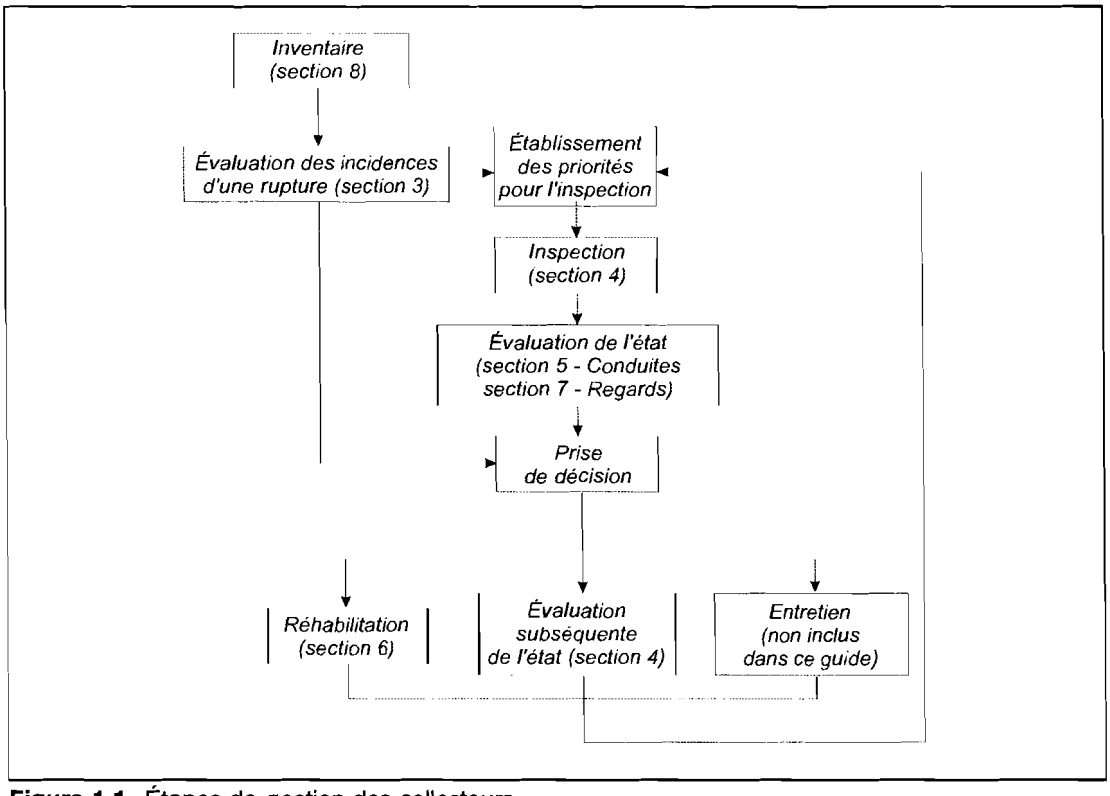


Figure 1.1 Étapes de gestion des collecteurs

de défaut employés dans d'autres systèmes d'évaluation au Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs (SÉCGC) décrit dans le présent document. L'annexe B contient des renseignements complémentaires sur l'estimation de l'état futur des collecteurs.

1.2 Portée

Ce guide s'applique aux gros systèmes d'évacuation par gravité des eaux usées, soit les collecteurs d'au moins 900 mm de diamètre (dimensions minimales acceptables pour une conduite visitable par une personne). De nombreux aspects de ce guide peuvent aussi s'appliquer à des collecteurs de plus faible diamètre.

Ce guide propose une méthode systématique d'évaluation des défauts structuraux des collecteurs, des collecteurs en briques et des regards et fournit de l'information sur les méthodes actuelles de réhabilitation des gros collecteurs.

La planification et l'ordonnancement des travaux de réhabilitation des collecteurs ne sont pas entièrement fondés sur les cotes d'incidence de rupture et les cotes d'état décrites dans ce document. D'autres facteurs, dont la croissance démographique, les plans de mise en place d'autres services publics souterrains et la réhabilitation des chaussées, peuvent aussi influer sur le calendrier des travaux.

Ce guide fournit également une méthode d'évaluation des défauts fonctionnels. On peut se servir des cotes d'état fonctionnel pour établir l'ordre de priorité des travaux d'entretien. Cependant, la prise de décisions à l'égard des travaux d'entretien et le choix des techniques ne s'inscrivent pas dans le cadre de ce guide.

1.3 Terminologie

Définition des principaux termes employés dans ce guide :

Aptitude au service : Capacité d'une conduite, ou d'un regard, de remplir la fonction pour laquelle il est conçu dans les conditions réelles de service.

Assise de conduite : Matériaux de remblai structuraux placés entre la base de la conduite et le fond de la tranchée.

Défaut : Un défaut est une faiblesse physique ou fonctionnelle. Les défauts peuvent être produits en cours de fabrication ou d'installation, être dus à une usure normale ou découler de dommages causés par un tiers. Il existe deux catégories de défauts : ceux qui ont un effet sur l'intégrité structurale et ceux qui ont un effet sur l'aptitude au service.

Durabilité : La durabilité[32, 12] est la capacité d'une conduite ou d'un regard à résister de façon satisfaisante aux effets des conditions de service auxquelles ils sont soumis. En d'autres termes, la durabilité est la capacité d'une conduite ou d'un regard à résister à l'usure et à la détérioration.

Enrobage : Matériaux de remblai qui entourent le collecteur, du sommet de la conduite au fond de la tranchée, et comprenant l'assise.

État : L'état d'une conduite d'égout ou d'un regard est défini au moyen de l'échelle graduée suivante : 0 – excellent, 1 – bon, 2 – acceptable, 3 – médiocre, 4 – mauvais, 5 – rupture ou rupture imminente. Les cotes d'état sont aussi appelées « indices d'état » dans les modèles théoriques qui servent à prédire l'état futur des collecteurs (annexe B).

Lorsque la conduite ou le regard est en excellent état (à l'état neuf), aucun défaut ne sera observé au cours d'une inspection, et l'état recevra la cote « 0 ».

Gros collecteurs : Les collecteurs de 900 mm et plus sont considérés comme des gros collecteurs. Ce diamètre correspond au diamètre minimal d'une conduite dans laquelle une personne peut entrer aisément et en toute sécurité.

Inspection manuelle : Travail pour lequel une personne doit pénétrer dans la conduite.

Méthodes d'essais en conduite : Méthodes d'essai ponctuelles des joints ou des tronçons à l'aide d'outils spéciaux. Dans ces essais, une personne pénètre généralement dans la conduite.

Méthodes d'inspection pleine longueur : Méthodes d'inspection employées pour inspecter en continu les conduites d'égout entre deux regards.

Méthodes d'inspection spéciales : Méthodes d'inspection utilisées pour inspecter des zones localisées ou des tronçons précis (pas nécessairement la totalité du tronçon compris entre deux regards) ou vérifier un défaut précis.

Regard : Ouvrage qui donne accès aux conduites d'égout aux fins d'entretien, d'inspection et de réhabilitation. Aussi appelé « cheminée de visite », « trou d'accès » et « puits d'accès ». Les regards sont notés « MH » sur les plans et dessins (ndt).

Rupture : Il y a rupture lorsque la conduite, ou le regard, ne peut plus remplir la fonction pour laquelle il a été conçu. Dans le cas d'une conduite d'égout, il y a rupture lorsque la conduite ne peut plus acheminer les eaux usées au débit nominal. Les modes de rupture varient selon le matériau. Une cote 5 indique une rupture ou une rupture imminente.

Vie utile : La vie utile est la durée prévue de bon fonctionnement d'une conduite ou d'un regard dans des conditions normales d'entretien. (Pour d'autres définitions de la Vie utile, se reporter aux ouvrages de référence 25,43 et 46.) La *durée de vie restante* correspond à la durée de vie d'un élément structural entre le moment de l'inspection et celui de sa rupture. La durée de vie *nominale* est la durée de vie prévue entre le moment de la construction et celui de la rupture, calculée en fonction des critères de conception. La durée de vie nominale n'est pas un indicateur véritable du taux de détérioration des matériaux ou du moment de la rupture de l'élément.

2. Santé et sécurité

Les égouts sont des lieux de travail dangereux parce qu'ils contiennent des gaz délétères, des bactéries et d'autres micro-organismes, que les réserves d'oxygène y sont limitées et que le taux d'humidité y est élevé, qu'ils dégagent des odeurs nauséabondes et qu'ils comportent des surfaces glissantes. Dans bon nombre de gros collecteurs, il est par ailleurs impossible de dévier l'écoulement de sorte qu'il faut tenir compte du niveau d'eau lors des inspections et des travaux de réhabilitation.

La santé et la sécurité sont extrêmement importantes et ne doivent pas être compromises. Il faut établir un plan de sécurité pour tous les travaux qui se déroulent à l'intérieur des conduites visitables. Il faut élaborer des consignes de sécurité et veiller à ce que tout le personnel s'y conforme. Avant toute inspection et tout travail de réhabilitation, il faut mettre en place ces consignes de sécurité et désigner des responsables de la sécurité sur place parmi le personnel qualifié. Le non respect des consignes de sécurité peut entraîner des accidents mortels.

Bien qu'il n'existe pas de règlements nationaux en matière de santé et de sécurité au Canada, de nombreuses provinces et municipalités ont établi leurs propres règlements et consignes pour le travail dans les espaces clos. Toutes les municipalités qui exploitent un réseau d'égout doivent établir des consignes appropriées conjointement avec les autorités provinciales et les autres municipalités. Pour de plus amples renseignements, voir les documents suivants :

- Règlement 213/91 de l'Ontario : *Loi sur la santé et la sécurité au travail.*
- Ville de Toronto: *Confined Space Entry and Exit*, 1989.
- District régional de la capitale (Victoria, C.-B.) : *Section 3 – Work Procedure (WP) 13: Confined Space Entry Procedure*, CRD ENG Policy/Procedures Manual, 1998.
- Région de Hamilton-Wentworth : *Confined Space Entry Procedure* (établi pour un projet précis), 1998.
- District régional de Vancouver : *Confined Space Guidelines*, 1999; *Confined Space Entry Guidelines for Sewer Entry*, 1994; *Personal Protective Equipment Policy Statement*, 1993 (tous ces documents sont joints aux documents de soumission pour les travaux reliés aux réseaux d'égout).
- Ville de Régina : *Confined Space Entry Program, City of Regina*, 1997.

Exigences minimales pour le travail en espace clos :

- Formation appropriée du personnel qui participe, en surface ou sous le niveau du sol, aux travaux d'inspection et de réhabilitation des égouts collecteurs
- Plans de mesures d'urgence pour le travail et le sauvetage
- Évaluation des dangers potentiels avant que des personnes n'entrent dans un regard ou une conduite
- Disponibilité de vêtements et d'équipements de protection appropriés (harnais, cordages de sécurité, appareils respiratoires et matériel de levage et de transport)
- Disponibilité d'outils et d'équipements appropriés et en bon état
- Disponibilité d'équipements d'urgence (trousse de premiers soins et extincteurs)
- Notification des organismes de sauvetage appropriés (service d'incendie, par exemple) avant le début des travaux

- Vérification et surveillance de la qualité de l'air avant et pendant l'entrée du personnel
- Maintien d'une ventilation et d'un éclairage suffisants pendant l'entrée du personnel
- Ouverture et surveillance continue de puits d'accès immédiatement en amont et en aval de la zone des travaux
- Communication efficace entre les membres du personnel postés en surface et ceux qui travaillent sous le niveau du sol
- Maintien en tout temps des cordages de sécurité
- Aiguillage sécuritaire de la circulation de surface.

Les égouts sont des milieux dangereux. Toute personne qui pénètre dans un égout doit connaître les exigences de sécurité qui s'appliquent au travail en espace clos.

3. Évaluation de l'incidence d'une rupture

L'incidence d'une rupture d'un gros collecteur dépend de plusieurs facteurs, chaque collecteur possédant des caractéristiques qui lui sont propres. Les décisions relatives à la réhabilitation des collecteurs d'égout sont fondées sur deux grands facteurs — l'incidence de rupture et l'état du collecteur (sections 5 et 7).

L'évaluation de l'incidence d'une rupture permet de mesurer les conséquences d'une rupture des différents tronçons d'un réseau d'égout et la probabilité d'une rupture, compte tenu des conditions auxquelles le collecteur est exposé. Cette évaluation est généralement menée indépendamment de l'inspection sur place et de l'évaluation de l'état.

La cote d'incidence de rupture est fondée sur la probabilité d'une rupture et la gravité des conséquences de cette rupture. Ainsi, la probabilité d'une rupture est élevée lorsqu'un collecteur fissuré est exposé à des conditions de sol instables. Les conséquences d'une rupture sont graves lorsque le collecteur dessert une zone étendue et qu'aucun autre système parallèle n'existe.

La cote d'incidence de rupture combinée à la cote d'état permettent d'établir de façon logique et systématique les priorités pour les inspections subséquentes et les travaux éventuels de réhabilitation des collecteurs.

3.1 Évaluation de l'incidence de rupture d'une conduite d'égout

Le tableau 3.1 montre les principaux facteurs qui déterminent soit la probabilité d'une rupture, soit la gravité des conséquences d'une rupture. Les facteurs locaux varient selon l'emplacement tandis que les facteurs généraux demeurent les mêmes pour tous les tronçons délimités par des regards, voire pour toute une zone urbaine.

3.1.1 Détermination de l'incidence de rupture

On utilise des valeurs numériques pour quantifier l'incidence en cas de rupture. L'attribution de valeurs cohérentes fournira des renseignements utiles sur le degré relatif des effets de la rupture de différents collecteurs ou tronçons de collecteur. Lorsque l'incidence d'un facteur est négligeable ou faible, on attribue une valeur de 1, et des valeurs de 1,5 et de 3,0 respectivement, lorsque cette incidence est modérée ou élevée (tableau 3.2). Chaque facteur d'incidence de rupture est associé à un coefficient de pondération déterminé que l'on utilise conjointement avec le degré d'incidence de rupture dans l'équation. 3.1 pour calculer le facteur pondéré d'incidence de rupture d'un collecteur donné.

Tableau 3.1 Principaux facteurs influant sur l'incidence de rupture

Facteur	Déterminant la probabilité d'une rupture	Déterminant la gravité des conséquences d'une rupture	Effet local ou général
Emplacement du collecteur	•	•	Local
Sol d'enrobage	•	•	Local
Dimensions du collecteur	•	•	Général
Profondeur d'enfouissement	•	•	Général
Fonction du collecteur	•	•	Général
Zone sismique	•	•	Général

La cote d'incidence de rupture a deux fonctions :

1. Elle permet d'établir des priorités pour l'inspection (section 4) et l'évaluation de l'état du collecteur (conduites — section 5 et regards — section 7).

2. Combinée à la cote d'état, la cote d'incidence permet d'établir le calendrier des travaux de réhabilitation (conduites — section 6 et regards — section 7).

Le degré d'incidence de rupture de chacun des principaux facteurs est défini aux paragraphes 3.1.2 à 3.1.7. Le facteur pondéré d'incidence de rupture I_w est ensuite calculé comme suit :

$$I_w = (0.2)f_l + (0.16)f_s + (0.16)f_z + (0.16)f_d + (0.16)f_f + (0.16)f_q$$

Après avoir calculé l'incidence pondérée de rupture, on évalue la cote d'incidence R_{imp} à l'aide du tableau 3.3.

3.1.2 Emplacement du collecteur

L'emplacement d'un collecteur influe sur l'incidence qu'aura sa rupture sur la population et l'environnement.

Le tableau 3.4 montre le facteur d'emplacement du collecteur f_l et l'incidence de rupture en fonction de l'utilisation des sols, de la circulation, de l'accès aux fins de réparation, de l'emplacement du collecteur par rapport aux installations essentielles et du zonage environnemental.

La figure 3.1 montre l'attribution de facteurs d'emplacement à un collecteur. On a attribué un facteur élevé d'emplacement à la partie du collecteur située dans le périmètre de l'aéroport.

Tableau 3.2 Facteurs d'incidence de rupture et coefficients de pondération

Facteur d'incidence de rupture	Coefficient de pondération	Symbole	Degré d'incidence de rupture		
			Faible	Modéré	Élevé
Local					
Emplacement du collecteur (tableau 3.4)	0,2	F_l	1,0	1,5	3,0
Sol d'enrobage (tableau 3.5)	0,16	F_s	1,0	1,5	3,0
Général					
Dimensions du collecteur (tableau 3.6)	0,16	F_z	1,0	1,5	3,0
Profondeur d'enfouissement (tableau 3.7)	0,16	F_d	1,0	1,5	3,0
Fonction du collecteur (tableau 3.8)	0,16	F_f	1,0	1,5	3,0
Zone sismique (tableau 3.9)	0,16	f_q	1,0	1,5	3,0

Tableau 3.3 Cote d'incidence de rupture

Facteur pondéré d'incidence, I_w	Cote d'incidence, R_{imp}
1.00	1
1,01 - 1,60	2
1,61 - 2,20	3
2,21 - 2,80	4
> 2,80	5

Tableau 3.4 Facteur d'emplacement du collecteur*

Aspects	Degré d'incidence de rupture		
	Faible (f_l = 1,0)	**Modéré (f_l = 1,5)**	**Élevé (f_l = 3,0)**
Utilisation des sols	Usage industriel	Usage résidentiel	Usage commercial
Intensité de la circulation	1 ou 2 voies	3 à 5 voies	6 voies et plus
Accès aux fins de réparation	Libre	Limité	Restreint
Emplacement (au-dessous ou à proximité)	Aires non définies dans les deux colonnes suivantes	• Aires touristiques à forte densité d'occupants • Installations ou services publics à risque élevé	• Installations ou services publics à risque élevé • Chemins de fer, cours d'eau, canaux ou autres plans d'eau • Bâtiments • Accès principal à des installations d'urgence • Aéroports
Environnement	Aires non vulnérables	Aires de conservation	Aires protégées

* Adapté des ouvrages de référence 10 et 11.

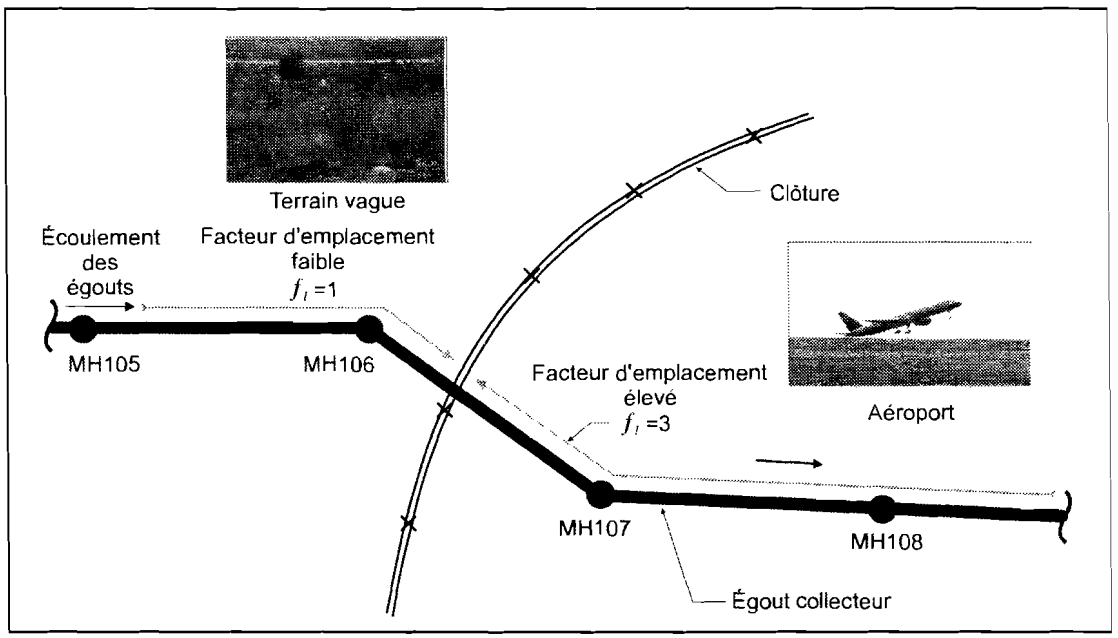


Figure 3.1 Exemple de facteur d'emplacement

3.1.3 Sol d'enrobage

Les caractéristiques des sols d'enrobage et des sols natifs se trouvant à proximité d'un gros collecteur fournissent des indications sur le risque de rupture du collecteur. Ainsi, la présence simultanée de sols d'enrobage fins, d'une nappe phréatique élevée et de fissures ou de joints ouverts dans une conduite peut accélérer l'érosion des sols qui soutiennent la conduite.

Les silts et les sables fins s'érodent très facilement[3] (ce phénomène est souvent appelé « phénomène de renard ») même si les charges hydrostatiques auxquelles ils sont exposés sont faibles (moins de 1,5 m). Cette disparition progressive du support peut provoquer une rupture de la conduite. Le tableau 3.5 indique le facteur de sol d'enrobage f_s pour divers types de sols.

3.1.4 Dimensions du collecteur

Les dimensions du collecteur ont un effet sur le choix des méthodes de réhabilitation, l'exécution des travaux de réfection et le degré de contamination du milieu environnant (sol ou plans d'eau récepteurs) en cas de rupture. Généralement, le coût des réparations augmente en proportion des dimensions du collecteur. Le tableau 3.6 indique le facteur de dimension du collecteur f_z pour divers diamètres de collecteur.

3.1.5 Profondeur d'enfouissement

Plus la profondeur d'enfouissement du collecteur est importante, plus il est difficile d'y exécuter des réparations d'urgence. Il est aussi plus difficile de procéder aux inspections puisque les risques pour la santé et la sécurité augmentent avec la profondeur. Le tableau 3.7 indique le facteur de profondeur d'enfouissement f_d pour diverses profondeurs.

Tableau 3.5 Facteur de sol d'enrobage*

Sol d'enrobage	Degré d'incidence de rupture	f_s
Argiles de plasticité modérée à élevée Toutes les argiles si la conduite se trouve dans un tunnel creusé	Faible	1,0
Argiles de faible plasticité Gravier fin à moyen Gravier sableux à granulométrie régulière Silts, sables silteux fins et sables fins	Modéré	1,5
Sables moyens à grossiers	Élevé	3,0

*Tiré de l'ouvrage de référence 52

Tableau 3.6 Facteur de dimension du collecteur*

Diamètre du collecteur/hauteur (h), mm	Degré d'incidence de rupture	f_z
< 900	Faible	1,0
900 – 1800	Modéré	1,5
> 1800	Élevé	3,0

* Tiré de l'ouvrage de référence 15

Tableau 3.7 Facteur de profondeur d'enfouissement*

Profondeur d'enfouissement (h), m	Degré d'incidence de rupture	f_d
h £ 3	Faible	1,0
3 < h £ 10	Modéré	1,5
h > 10	Élevé	3,0

* Tiré de l'ouvrage de référence 15

3.1.6 Fonction du collecteur

Le type d'eaux usées acheminées par un gros collecteur influe sur le degré de contamination du sol ou des plans d'eau récepteurs et le degré de difficulté des réparations. En général, la rupture d'un égout sanitaire a un degré d'incidence plus élevé que celle d'un égout pluvial[44]. Le tableau 3.8 indique le facteur de fonction du collecteur f_f pour différents types de collecteurs.

3.1.7 Zone sismique

Les séismes causent plus de dommages aux tronçons de conduites défectueuses qu'aux tronçons en bon état. Lorsqu'il vibre, le sol est moins apte à soutenir les conduites, en particulier les conduites flexibles, qui dépendent davantage du support fourni par le sol que les conduites rigides. Le facteur sismique ne vise pas à éliminer les dommages causés aux collecteurs par les tremblements de terre mais plutôt à réduire au minimum l'ampleur de ces dommages. Le tableau 3.9 indique le facteur de zone sismique f_q pour différentes zones sismiques. Z_a est la zone reliée à l'accélération et Z_v, la zone reliée à la vitesse[42].

3.2 Évaluation des incidences de rupture de regard

Les regards relient deux ou plusieurs conduites d'égout. Comme ces conduites n'ont pas toutes les mêmes dimensions et la même profondeur d'enfouissement, elles auront des incidences différentes en cas de rupture. La cote d'incidence de rupture d'un regard est définie comme étant égale à la valeur maximale des cotes d'incidence de rupture des conduites reliées à ce regard (figure 3.2).

3.3 Cotes d'incidence de rupture et établissement des priorités

On peut cartographier les cotes d'incidence de rupture (figure 3.3) des systèmes d'égouts qui sont obtenues en se basant sur la méthode exposée à la présente section. Ces cartes permettront non seulement de définir plus facilement les priorités aux fins de l'inspection, de l'évaluation et de la réhabilitation, mais aussi de prévoir de nouveaux prolongements du système d'égout. Ainsi, on peut utiliser une carte pour mettre en place un nouveau collecteur à une certaine distance des zones qui présentent une cote d'incidence élevée.

Tableau 3.8 Facteur de fonction du collecteur*

Fonction	Degré d'incidence de rupture	f_f
Égouts collecteurs, égouts pluviaux	Faible	1,0
Collecteurs principaux d'égouts sanitaire ou combinés	Modéré	1,5
Collecteurs généraux/régionaux, influent et effluent à l'usine d'épuration	Élevé	3,0

*Adapté des ouvrages de référence 10 et 11

Tableau 3.9 Facteur de zone sismique[42]

Zone reliée à l'accélération ou à la vitesse, Z_a, Z_v	Degré d'incidence de rupture	f_q
0 - 2	Faible	1,0
3 - 4	Modéré	1,5
5 - 6	Élevé	3,0

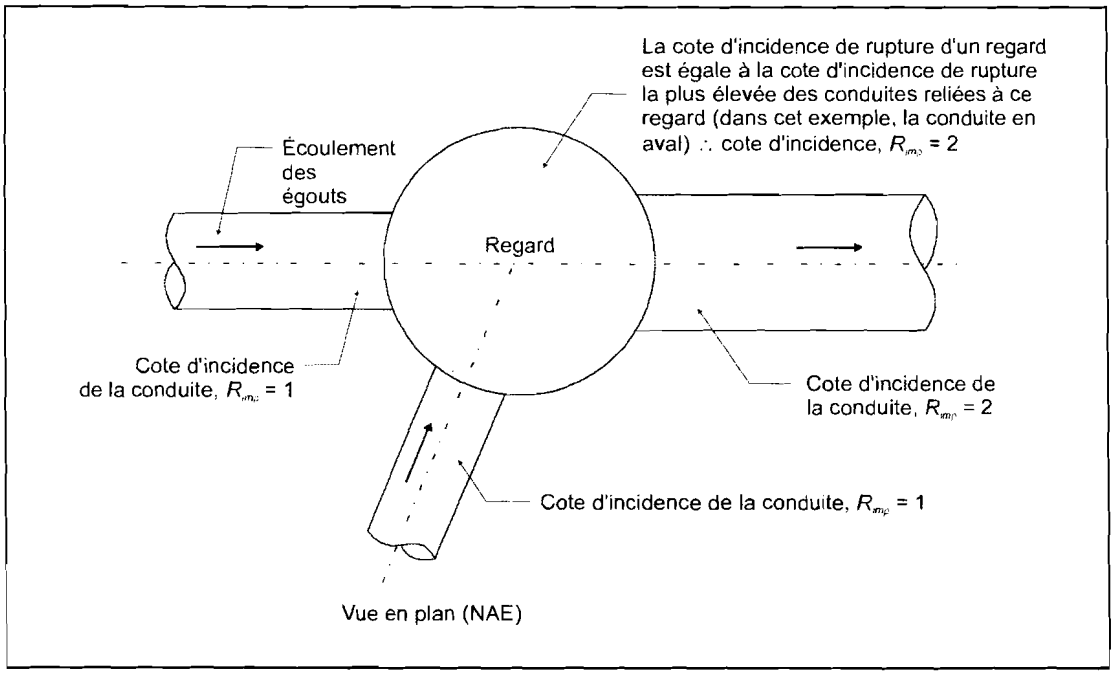


Figure 3.2 Cote d'incidence de rupture d'un regard

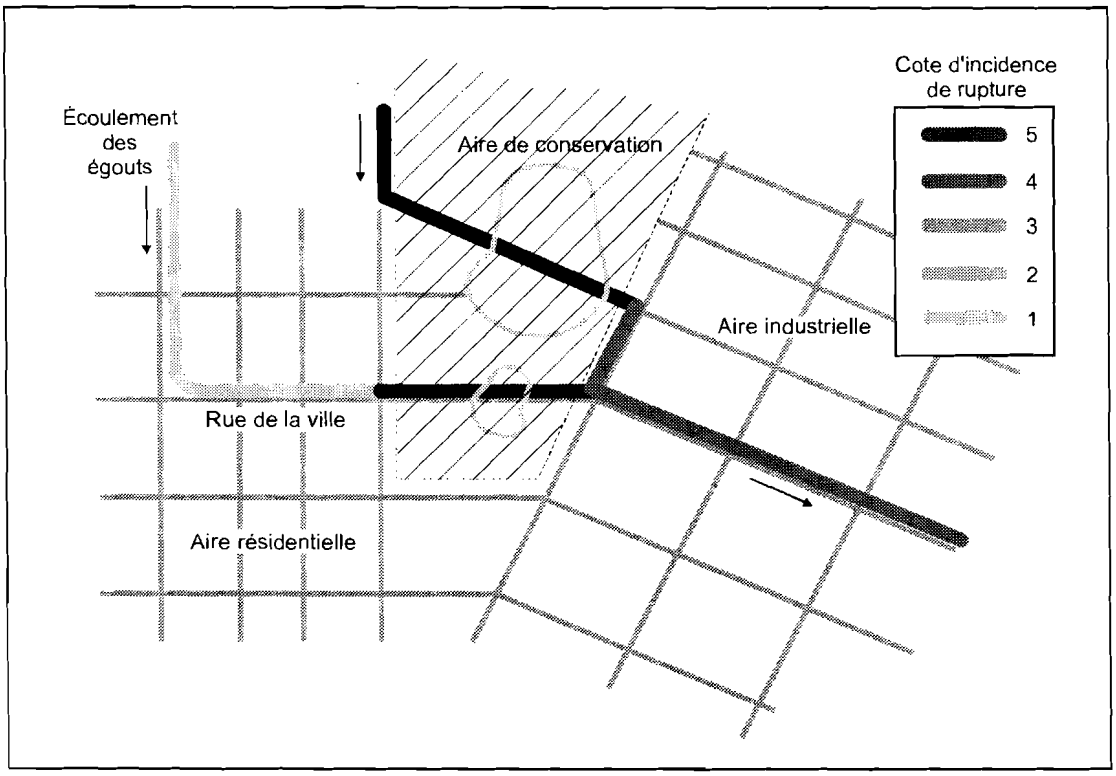


Figure 3.3 Modèle de carte d'incidences

4. Inspection

L'établissement d'un plan complet d'inspection est essentiel à la gestion efficace des gros collecteurs. L'inspection est la première étape de l'évaluation d'état. La cote d'état du système d'égout, combinée à la cote d'incidence de rupture présentée à la section 3, sont les paramètres de base sur laquelle se fonde la prise de décision quant aux travaux de réparation qui seront les plus rentables et qui causeront le moins d'interruptions de service.

Les inspections fournissent de l'information sur l'état physique du collecteur et le taux de détérioration des matériaux. Les données d'inspection permettent de prédire l'état futur du collecteur et de déterminer les besoins et d'établir le calendrier des travaux de réhabilitation.

Un calendrier optimal d'inspection permet de réaliser des économies et réduit la probabilité d'une rupture des conduites. La présente section renferme des recommandations sur la fréquence des inspections ainsi qu'une description et une estimation sommaire des coûts de diverses techniques d'inspection. Parmi les méthodes d'inspection décrites ici, mentionnons les inspections pleine longueur et les inspections spéciales. Certaines méthodes d'essais en conduite sont aussi exposées.

4.1 Calendrier et fréquence d'inspection

4.1.1 Inspection initiale

De nombreux collecteurs présentent des défauts. Dans certains cas, ces défauts sont liés à la détérioration normale due à l'usure. Une étude[31] a toutefois révélé que la plupart des défauts des collecteurs sont des défauts de fabrication. Une autre étude fondée sur l'évaluation de 180 km de collecteurs[44] indiquait que de nombreux défauts sont mis au jour pendant ou peu après la construction. Ces résultats confirment la nécessité d'inspecter les nouveaux collecteurs.

Les municipalités (ou leur représentant) procèdent habituellement à une inspection afin de s'assurer que les nouveaux collecteurs ont été construits conformément au devis. Cette inspection devrait aussi révéler toutes les modifications qui ont été apportées à la conception d'origine pendant la construction (par exemple, modification de l'alignement, emplacement des branchements ou ajout de regards).

L'inspection initiale devrait servir de base à une évaluation globale de l'état des collecteurs (sections 5 et 7). Par ailleurs, étant donné que les études montrent que bon nombre de défauts sont des défauts de fabrication et que ceux-ci ne sont pas immédiatement détectables, il est recommandé de mener une inspection intermédiaire des nouveaux collecteurs avant la fin de la période de garantie. Cette inspection devrait porter sur toute la longueur du nouveau collecteur ou du collecteur remis en état. Cette inspection initiale fournira des données de base précieuses qui permettront d'établir des comparaisons lors des évaluations ultérieures.

Si un gros collecteur existant n'a jamais été inspecté, il faut le soumettre à une inspection initiale le plus rapidement possible (quel que soit l'âge du collecteur) afin d'obtenir un point de référence sur l'état de sa condition. On peut ensuite se servir de cette information pour déterminer les besoins en matière d'entretien et de réhabilitation.

Dans le cas des égouts collecteurs qui ne sont pas visés par un plan complet d'inspection, on peut se reporter aux points ci-après pour établir les priorités en vue de la première inspection.

1. Utiliser la méthode d'évaluation des incidences de rupture décrite à la section 3 pour produire une carte d'incidences pour tous les gros collecteurs du réseau.

2. Attribuer une priorité élevée aux collecteurs dont on sait (ou soupçonne)

qu'ils posent des problèmes : par exemple, infiltrations ou exfiltrations importantes, bris d'une conduite d'eau potable à proximité, perturbation du sol par des travaux de construction ou exposition à des concentrations de produits chimiques supérieures à la normale.

3. Examiner le calendrier des travaux de réhabilitation des routes ou de remplacement de conduites d'eau potable à proximité du collecteur, de sorte que si l'on procède à une excavation à ciel ouvert pour remplacer le collecteur, on pourra effectuer les travaux avant la mise en place d'un nouveau revêtement sur la chaussée.

4. Dans les zones sismiques à risque élevé, attribuer une priorité élevée aux collecteurs enfouis dans des sols susceptibles de se liquéfier.

4.1.2 Inspection subséquente

L'établissement d'un calendrier optimal d'inspection est un aspect important de la bonne gestion des gros collecteurs. Il faut tenir compte de nombreux facteurs, notamment les coûts d'inspection, l'état prévu des conduites à la lumière de la dernière inspection, le niveau de risque (ou probabilité de rupture) et le degré de difficulté des travaux d'inspection.

Pour mener une inspection pleine longueur des gros collecteurs, on peut utiliser une variante de la méthode du Water Research Centre, du Royaume-Uni (WRc), présentée au tableau 4.1. La fréquence d'inspection recommandée dépend non seulement de l'état physique (sections 5 et 7) mais aussi de la cote d'incidence de rupture du collecteur (section 3).

Le calendrier d'inspection recommandé au tableau 4.1 ainsi que les fréquences adoptées par le WRc et la Ville d'Edmonton et d'autres municipalités ont une valeur normative. Cependant, à l'encontre d'autres méthodes, le choix du moment de la prochaine inspection indiqué au tableau 4.1 tient compte de la cote d'incidence de rupture. Plusieurs tentatives ont été faites pour mettre au point des méthodes décisionnelles plus quantitatives et donc davantage axées les caractéristiques propres à chaque collecteur. Certaines de ces méthodes sont décrites à l'annexe B. Pour déterminer la fréquence d'inspection, les périodes recommandées au tableau 4.1 devraient être utilisées jusqu'à ce qu'une méthode quantitative plus efficace soit mise au point et validée par des données sur le terrain.

4.2 Inspection pleine longueur

Une inspection pleine longueur est une inspection continue d'un tronçon donné

Tableau 4.1 Calendrier d'inspection établi en fonction des cotes d'état et d'incidence de rupture du collecteur

Cote d'état	Cote d'incidence de rupture (R_{imp})	Prochaine inspection (années)
5	1 à 5	0*
4	5	0*
	1 à 4	2 à 6
3	5	3
	1 à 4	5 à 10
2	5	5
	1 à 4	10 à 15
1 ou 0	5	10
	1 à 4	15 à 25

* Exige une réhabilitation immédiate

Tableau 4.2 Techniques d'inspection pleine longueur

Méthode d'inspection	Limites d'applicabilité	Fourchette de coûts†
Télévision en circuit fermé	Collecteurs d'au plus 1500 mm de diamètre; au-dessus du niveau de l'eau seulement; la qualité de l'image diminue en proportion de la longueur de câble	2 $ – 14 $/m
Sonar et télévision en circuit fermé	Présence d'eau nécessaire; au-dessus et en dessous du niveau d'eau; la qualité de l'image diminue en proportion de la longueur de câble	7 $ – 10 $/m
Inspection visuelle	Collecteurs de 900 mm de diamètre et plus; exige la présence de personnel dans la conduite; au-dessus du niveau d'eau seulement; risques pour la santé et la sécurité	2 – 20 $/m
Caméra fixe	Tronçons de conduite adjacents aux regards seulement; au-dessus du niveau d'eau seulement; méthode utilisée surtout pour les évaluations préliminaires	100 $ par regard

† Les coûts varient selon l'emplacement des travaux et tendent à augmenter avec la profondeur d'enfouissement et le diamètre des collecteurs. Ces coûts sont estimatifs.

délimité par deux regards. Un sommaire des techniques d'inspection abordées et brièvement décrites dans la présente section est donné au tableau 4.2. Une fourchette de coûts est également indiquée pour les projets pour lesquels l'information est disponible. Les coûts réels d'inspection sont fonction du diamètre et de la profondeur d'enfouissement des collecteurs, de la distance qui sépare les regards, de l'état du terrain et du collecteur et de la disponibilité d'inspecteurs locaux.

En général, la qualité de l'inspection sera meilleure si le collecteur a été nettoyé au préalable.

4.2.1 Télévision en circuit fermé

Les systèmes de télévision en circuit fermé sont un outil efficace pour l'inspection des gros collecteurs et ne nécessitent pas de travail en conduite. Il s'agit de déplacer une caméra à l'intérieur du collecteur et de d'enregistrer l'état des surfaces intérieures. Les techniques vidéo modernes, dont les fonctions de panoramique vertical et horizontal et d'ultra-grand-angulaire, donnent des images de très haute qualité de l'intérieur du collecteur.

Des opérateurs accrédités de télévision en circuit fermé utilisent les films vidéo pour enregistrer la nature et l'emplacement des défauts. On évalue ensuite l'état de l'ouvrage en visualisant l'enregistrement et en consultant le rapport d'inspection.

La télévision en circuit fermé saisit uniquement les images de la partie du collecteur située au-dessus du niveau d'eau et ne fournit pas de mesures quantitatives des déformations. Cependant, un opérateur expérimenté peut déceler certaines irrégularités, par exemple un ressaut hydraulique, qui peuvent indiquer la présence d'une conduite ou d'un joint déformé. S'il est essentiel d'inspecter la conduite sous le niveau d'eau à l'aide d'une caméra de télévision en circuit fermé, il faut alors assécher le collecteur au moyen d'une dérivation ou d'un pompage en dérivation.

La plupart des systèmes de télévision en circuit fermé conviennent à l'examen de conduites d'au plus 1500 mm de diamètre[52]. Les caméras de télévision sont soutenues par des tracteurs ou des flotteurs et commandées à distance par un opérateur qui se trouve à la surface. Si l'on utilise des tracteurs, on place la caméra sur une plate-forme mobile qui permet d'obtenir une vue rapprochée des défauts. Certaines caméras offrent des fonctions de panoramique vertical et horizontal, de rotation et de zoomage qui ajoutent à la qualité de l'inspection. On fixe

souvent des appareils d'éclairage supplémentaires au tracteur pour améliorer la visibilité. On peut monter les appareils d'inspection à l'intérieur du collecteur ou encore, les plier pour les insérer par un regard de dimensions courantes et les déplier à l'intérieur du collecteur. Les tracteurs peuvent effectuer des virages, tourner sur leur axe et se déplacer dans les zones encombrées de débris. On peut mener des inspections de regard en regard. Si on ne peut utiliser qu'un seul point d'accès, on inspecte le collecteur en déplaçant la caméra vers le point le plus éloigné, et le tracteur revient vers le point d'entrée en marche arrière.

Avant de se servir d'une caméra montée sur tracteur ou sur un appareil de levage, il faut estimer le niveau d'eau. On place des cales sur l'appareil de levage pour positionner la caméra avant d'installer celle-ci dans le collecteur. Si le niveau d'eau est trop haut, la caméra sera submergée, et l'inspection sera totalement inefficace. Dans les zones où le niveau d'eau est élevé, on peut monter la caméra sur un flotteur. Le champ de visibilité est alors réduit, et si l'écoulement est rapide, le mouvement du flotteur et de la caméra peut réduire la qualité de l'image.

Les inspections menées à l'aide de caméras de télévision en circuit fermé présentent certains inconvénients. Selon la situation, les préparatifs peuvent représenter une partie importante du temps d'inspection. Bien que l'on puisse se procurer des câbles d'alimentation de 1000 m de longueur, la qualité de l'image peut se dégrader si on utilise des câbles de plus de 500 m[35]. Si l'on se sert de grandes longueurs de câble, il peut être nécessaire d'utiliser une source d'alimentation secondaire pour améliorer la transmission de l'image. Le poids de traînage d'un long câble peut également constituer un facteur contraignant.

Bien que les systèmes de caméra en circuit fermé soient un moyen efficace d'inspecter les gros collecteurs, les résultats doivent ensuite être interprétés par l'opérateur, qui peut laisser passer certains défauts parce qu'il est distrait ou fatigué ou parce que la qualité de l'image laisse à désirer. Pour garantir la fiabilité et l'uniformité du codage des défauts, il faut employer des opérateurs qui ont reçu une formation officielle et sont accrédités par une organisation reconnue. La North America Association of Pipeline Inspectors (NAAPI) offre aux opérateurs de télévision en circuit fermé un programme de formation et d'accréditation fondé sur les normes du WRc.

En général, les coûts d'inspection par caméra en circuit fermé sont proportionnels à la profondeur d'enfouissement parce qu'un ouvrage profond nécessite davantage de préparation et de plus grandes longueurs de câble. Le coût de ce type d'inspection varie de 2 $/m à 14 $/m[55] (coûts de nettoyage du collecteur non compris).

4.2.2 Sonar et caméra de télévision en circuit fermé

Dans un système mixte de sonar et de télévision en circuit fermé, on utilise le sonar pour inspecter la partie du collecteur située sous le niveau d'eau et la caméra en circuit fermé pour examiner la partie située au-dessus du niveau d'eau, de manière à obtenir une image complète du collecteur. Les images sonar peuvent révéler la forme véritable de la conduite, la présence de sédiments accumulés sur le radier et de défauts de plus de 4 mm sur la surface de la conduite[21].

Comme les inspections par caméra en circuit fermé, ces inspections doivent être effectuées par du personnel qui a reçu une formation tant sur l'exécution des inspections que sur l'interprétation des résultats. Les préparatifs et les limites de longueur de câble sont les mêmes que pour les inspections par caméra en circuit fermé. L'inspection peut toutefois prendre beaucoup plus de temps qu'une inspection menée uniquement à l'aide de caméras en circuit fermé. Ici aussi, une partie importante du temps d'inspection est consacrée aux préparatifs. Les coûts d'inspection varient de 6 $/m à 10 $/m pour le sonar seulement et de 7 $/m à 10 $/m si l'on ajoute une caméra en circuit fermé[55].

4.2.3 Inspection visuelle

L'inspection des collecteurs par du personnel qualifié peut fournir des données qualitatives et quantitatives sur les défauts. Ainsi, les inspecteurs peuvent noter les défauts et les détériorations, déceler une délamination du béton, mesurer la déflexion des conduites et prendre des photographies en gros plans. L'inspection visuelle peut être utilisée comme méthode unique d'inspection ou peut permettre d'obtenir des données supplémentaires après une inspection par caméra en circuit fermé. Avant d'effectuer une inspection visuelle, il est utile d'étudier les rapports antérieurs et de cerner les zones qui posent des problèmes.

Pour garantir l'uniformité et la comparabilité des rapports d'inspection visuelle, il faut employer des inspecteurs qui ont reçu une formation officielle et qui sont certifiés. Les inspecteurs doivent en outre recevoir une formation spéciale pour le travail en espaces clos. Comme il est expliqué à la section 2, les égouts sont des lieux de travail dangereux, et les personnes qui y travaillent doivent respecter les consignes de sécurité à la lettre. Les préparatifs pour une inspection visuelle prennent du temps en raison des exigences de santé et de sécurité, et le rythme d'inspection est limité par certains facteurs de sécurité, comme la durée des bonbonnes d'oxygène.

Comme dans le cas des inspections par caméra en circuit fermé, les inspections visuelles ne permettent d'observer que les défauts qui se trouvent au-dessus du niveau d'eau, et il demeure toujours possible que l'inspecteur donne une interprétation subjective de la nature et de la gravité des défauts. Ces inspections ne permettent pas toujours d'établir avec précision l'emplacement de chaque défaut. La Ville d'Edmonton a payé de 2 $/m à 20 $/m pour ce type d'inspection.

4.2.4 Caméra fixe

On se sert de caméras fixes pour obtenir rapidement des données de première main sur les défauts des conduites aux abords des regards. Cette méthode est souvent utilisée comme outil d'évaluation préliminaire, car on estime que la détérioration des conduites d'égout est plus marquée à proximité des regards[41]. Des photographies sont prises à partir du regard. La distance qui peut être inspectée dépend de la qualité de l'éclairage et des fonctions de zoomage disponibles sur la caméra. Le coût de ce type d'inspection est d'environ 100 $ par regard.

4.2.5 Nouvelles techniques d'inspection

Plusieurs techniques prometteuses sont actuellement en développement. L'une de ces méthodes est la technique d'exploration et

Tableau 4.3 Techniques spéciales d'inspection

Méthode d'inspection	Caractéristiques
Échosondeur rotatif	Technique éprouvée; utile pour la mesure des déflexions des conduites flexibles; utilisée dans les collecteurs d'au plus 1500 mm de diamètre
Plongeurs	Technique présentant des risques élevés; utilisée pour les collecteurs surchargés; efficacité limitée dans des conditions de forte turbidité
Système MAC	Technique éprouvée; nécessite l'assèchement du collecteur ou une baisse du niveau d'eau
Thermographie infrarouge	Technique en voie de développement; efficacité limitée dans les zones encombrées de services publics enfouis
Géoradar	Technique en voie de développement; tributaire des conditions de sol

d'évaluation des collecteurs d'égout mise au point au Japon et évaluée par la Civil Engineering Research Foundation (CERF). Cette méthode combine les techniques de balayage électronique et un système expert de base de données qui permet d'identifier automatiquement les types de défauts sur les parois internes des collecteurs[2, 23].

4.3 Techniques spéciales d'inspection

Les techniques spéciales d'inspection sont celles dont on se sert dans des situations anormales (par exemple, en cas de surcharge) ou qui doivent être employées avec certains matériaux. Le tableau 4.3 résume les techniques décrites à la présente section.

4.3.1 Échosondeur rotatif

Apparenté à la technique d'inspection par sonar et caméra en circuit fermé décrite au paragraphe 4.2.2, l'échosondeur rotatif peut être utilisé pour mesurer les déflexions dans une conduite souple ou une conduite revêtue ou encore, pour déterminer la perte de matériau sur la paroi interne d'une conduite. Le sonar mesure les différentes vitesses de transmission du son dans différents milieux[45]. On peut se servir d'échosondeurs pour inspecter les parties de la conduite situées tant en dessous qu'au-dessus du niveau d'eau, mais non pas simultanément. L'échosondeur rotatif se déplace à l'intérieur de la conduite sur des chariots porteurs semblables à ceux que l'on utilise pour les inspections par caméra en circuit fermé et mesure la déformation en n'importe quel point sur la circonférence de la conduite. Le coût d'utilisation de ces appareils varie entre 10 $/m et 13 $/m [45] (nettoyage du collecteur et mobilisation non compris).

4.3.2 Inspection par plongeurs

On peut employer des plongeurs accrédités pour effectuer des inspections dans des conduites où le niveau d'eau est élevé et dans des tronçons surchargés, par exemple, dans les parties en siphon des gros collecteurs. La mauvaise visibilité et la difficulté à déterminer la gravité et l'emplacement exact des défauts sont des facteurs contraignants. L'inspection par plongeurs est une méthode d'inspection en conduite qui présente des risques élevés et qui nécessite des consignes de sécurité spéciales.

4.3.3 Système mécanique d'auscultation des conduites (MAC)

Le système MAC est une technique que l'on utilise pour évaluer ponctuellement la résistance structurale d'une conduite et l'intégrité de la structure conduite-sol[47]. Il faut assécher le collecteur avant les essais. Comme il n'est pas toujours possible d'assécher les collecteurs, il est préférable de réserver cette technique aux vérifications ponctuelles qui doivent être effectuées avant la mise en service des nouveaux collecteurs. Un ordinateur et un appareil de chargement sont placés à l'intérieur du collecteur. Une charge est appliquée, et un sonar mesure la déformation de la conduite. L'ordinateur utilise la méthode des éléments finis pour déterminer la rigidité longitudinale, l'allongement et le coefficient de sécurité. Cette méthode est dispendieuse (50 $/m) et nécessite des équipements et du personnel spécialisés.

4.3.4 Inspection au-delà les parois des conduites (détection des vides)

L'intégrité de la structure du sol porteur joue un rôle très important[50] dans le rendement du collecteur, et une érosion du sol peut provoquer l'effondrement de l'ouvrage. Certains facteurs influent sur la vitesse d'érosion du sol, notamment les dimensions des fissures et des joints ouverts dans la conduite, le niveau de la nappe phréatique, les caractéristiques des sols d'enrobage, l'éclatement d'une conduite d'eau à proximité et les travaux de construction qui perturbent le sol d'enrobage. La pénétration de sol dans les fissures et les joints crée des vides et réduit la capacité portante de la conduite. Les méthodes de détection des vides sont relativement nouvelles et ne sont pas encore parfaitement au

point. Il est donc essentiel de valider les résultats des essais de détection des vides. La thermographie infrarouge utilise la chaleur latente des fluides et des gaz pour détecter les fuites et les vides. Il s'agit d'une méthode non destructive et sans contact utilisée pour inspecter des zones étendues à partir de la surface. Elle permet de déceler les vides mais non de déterminer si le vide est dû à l'érosion du sol ou à un vide dans la structure (par exemple, une boîte de valve). Elle n'indique pas non plus la taille du vide. Un système de thermographie infrarouge comprend une tête de balayage infrarouge et un détecteur, un microprocesseur en temps réel, un système d'acquisition ou d'analyse de données ainsi que des dispositifs d'enregistrement et de repérage d'images.

Les inspections par thermographie infrarouge peuvent être menées de quatre façons.

- L'opérateur porte l'équipement et se déplace dans la zone d'inspection.
- L'équipement est placé sur une plate-forme et capte les images thermiques à partir d'un point surélevé.
- L'équipement est monté sur un véhicule.
- L'équipement est monté sur un hélicoptère, ce qui permet d'inspecter une zone étendue.

La thermographie infrarouge semble être une méthode économique (coût moyen de 5 $/m) et sécuritaire. Pour obtenir des résultats plus précis, on peut combiner les données à celles d'autres inspections. On pourra ainsi distinguer plus facilement les zones qui doivent être réparées des zones en bon état[17].

Les essais peuvent être effectués le jour ou la nuit et n'occasionnent pas vraiment d'inconvénients pour la population. Il peut toutefois être difficile de faire les analyses dans les zones encombrées par d'autres services publics. La surface du sol doit être sèche et exempte d'eau et de neige. On peut généralement procéder à l'inspection lorsqu'il n'y a pas eu de précipitations depuis au moins une journée.

L'inspection de surface consiste à examiner minutieusement la zone située au-dessus du collecteur et de rechercher des tassements et des affaissements qui pourraient indiquer la présence de vides autour du collecteur ou une déformation de la conduite. La présence d'irrégularités en surface confirme la nécessité de procéder sans délai à une inspection détaillée de l'intérieur de la conduite.

On peut utiliser un géoradar à l'intérieur de la conduite ou en surface pour repérer et localiser des vides dans le sol qui entoure une conduite. Le géoradar émet des impulsions électromagnétiques dans le sol et mesure la réflexion et la réfraction par les couches sous la surface ou les objets enfouis. La profondeur d'inspection peut atteindre 100 m, selon les types de sol. Le géoradar est peu efficace dans les sols argileux et les sols qui présente une conductivité électrique élevée[17].

Combiné à un sonar et à une caméra en circuit fermé, le géoradar a pu déceler efficacement les cavités autours des conduites d'égout[30]. Dans un cas, un véhicule téléguidé équipé d'un sonar, d'une caméra vidéo à haute résolution et d'un géoradar a été placé dans un collecteur. On a appuyé le transducteur du géoradar contre la paroi interne du collecteur, enregistré le signal de retour et consigné l'emplacement du défaut. On a corrélé les résultats de l'examen par géoradar avec les données vidéo et sonar. Les vides connus ont été décelés (fosses), et la présence des autres vides décelés a été confirmée par forage.

4.4 Méthodes d'essais en conduite

Les méthodes d'essais en conduite sont utilisées pour des vérifications ponctuelles des zones qui présentent ou pourraient présenter des problèmes.

4.4.1 Méthodes d'essais nécessitant l'entrée de personnel

Pour les essais suivants, une personne doit pénétrer dans le collecteur, et le travail ne peut être effectué que si le niveau d'eau est suffisamment bas.

L'impact-écho est une méthode d'essai non destructive qui permet de déterminer l'épaisseur de la paroi d'un collecteur. Elle permet aussi, dans une certaine mesure, de déceler les vides dans le sol porteur. On peut utiliser un marteau pour exciter la paroi et un dynamomètre piézo-électrique pour mesurer la force. On se sert de géophones ou d'accéléromètres, deux types de transducteurs, pour mesurer la réponse au choc. On détermine la rigidité dynamique du matériau de la conduite pour savoir si la paroi présente des vides ou des défauts[34].

On peut également passer manuellement une antenne radar sur la paroi du collecteur. Cette méthode permet de distinguer les tronçons dont la structure collecteur-sol est intacte de ceux qui présentent des fissures, des vides ou des défauts[34].

Le carottage de la paroi de la conduite permet d'évaluer l'état de la surface extérieure du collecteur et de déceler des vides potentiels derrière la paroi. Des essais supplémentaires en laboratoire peuvent être menés sur les éprouvettes.

Dans les essais de résistance sur place, on utilise des instruments d'essai portatifs (par exemple, un scléromètre) pour évaluer la résistance du matériau de la conduite.
Autres méthodes :

- Vérification de l'étanchéité à l'eau des joints
- Échantillonnage et analyse en laboratoire de la composition chimique des dépôts formés sur les parois internes des conduites

4.4.2 Autres méthodes d'inspection

On peut mesurer le débit pour déceler les obstructions et les irrégularités d'écoulement. Les débitmètres automatiques (par exemple, capteurs ultrasoniques à étendues multiples et transducteurs de pression avec capteur de vitesse Doppler) peuvent mesurer et enregistrer la profondeur et la vitesse d'écoulement et être utilisés pour enregistrer les surcharges.
On peut déterminer l'emplacement des venues d'eau et des infiltrations ainsi que des intrusions de racines à l'aide d'un système infrarouge sur mesure[16]. La sonde est encapsulée, ce qui la protège contre les conditions qui règnent dans le collecteur, et placée sur un traîneau semblable à celui dont on se sert pour les inspections vidéo (caméra en circuit fermé). Cette méthode permet de distinguer les effluents du collecteur et les venues d'eau (infiltrations) en se basant sur leur température. L'inspection peut se dérouler à raison de 400 m/jour.

5. Évaluation de l'état des conduites

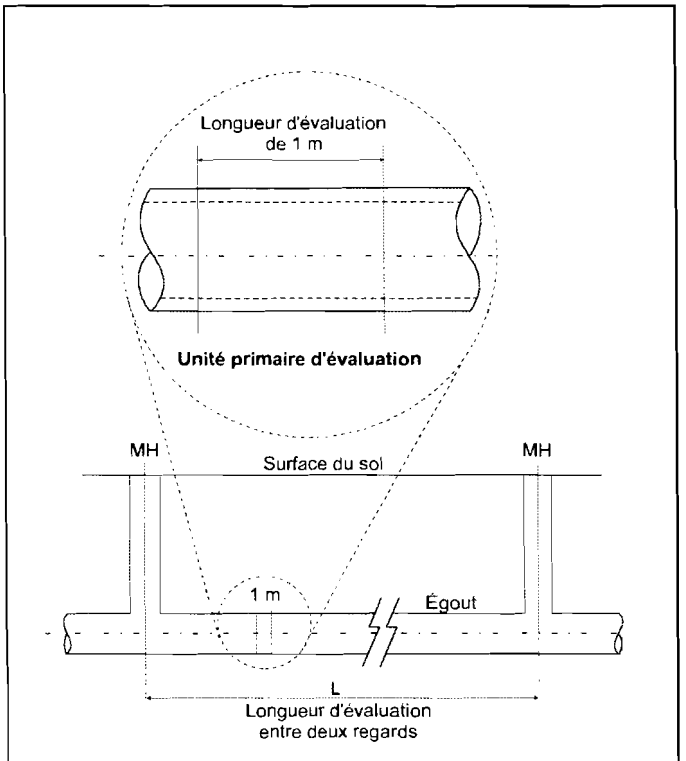
5.1 Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs (SÉCGC)

L'évaluation minutieuse de l'état physique des collecteurs est essentielle à la bonne gestion des réseaux d'égout. La cote d'état, combinée à la cote d'incidence de rupture décrite à la section 3, permet de prendre des décisions rationnelles à l'égard du calendrier des travaux d'inspection, d'entretien et de réparation.

Pour élaborer le Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs décrit à la présente section, on a adopté et modifié certains éléments des procédures d'évaluation de l'état des conduites employées par la Ville d'Edmonton [15], la Ville de Phoenix[10] et le Water Research Centre[52] (Royaume-Uni). Cette méthode détaillée demeure toutefois facile à utiliser. L'annexe A renferme des tables de conversion des codes d'état employés dans ces systèmes au système d'évaluation et de codage des gros collecteurs.

Le Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs utilise comme unité primaire d'évaluation un tronçon de conduite de un mètre de longueur et comme unité secondaire, la longueur de conduite entre deux regards (figure 5.1). On peut ainsi utiliser les données d'inspection pour identifier les problèmes graves localisés ou les tronçons de conduite dont l'état général laisse à désirer. Lorsque la distance entre deux regards est supérieure à 120 m, elle doit être divisée en longueurs égales de moins de 120 m.

Certaines anomalies indiquent la présence de défauts structuraux dans le réseau d'égout, d'autres correspondent à des défauts fonctionnels (inaptitude au service). Il est logique de séparer ces défauts en deux catégories puisque les défauts structuraux nécessitent ordinairement des travaux de réparation (réhabilitation) tandis que les



Unité d'évaluation	Notes structurales et fonctionnelles
Primaire : longueur de 1 m	Note maximale pour une longueur de 1 m Note globale pour une longueur de 1 m Note moyenne pour une longueur de 1 m
Secondaire : longueur entre deux regards	Note maximale pour une longueur entre deux regards Note globale pour une longueur entre deux regards Note moyenne pour une longueur entre deux regards

Figure 5.1 Unités primaires et secondaires du Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs

défauts fonctionnels peuvent le plus souvent être éliminés par des travaux d'entretien. Deux cotes d'état sont utilisées :

- Cote d'état structural pour les défauts structuraux
- Cote d'état fonctionnel pour les défauts fonctionnels.

On utilise le système de positionnement horaire pour normaliser les indications d'emplacement des défauts. Si l'on se tourne vers la partie aval de la conduite, la position 12 heures correspond au sommet de la conduite, et la position 6 heures, au radier (figure 5.2). Pour les conduites d'une forme autre que celles qui sont représentées à la figure 5.2, l'utilisateur doit définir les positions horaires les mieux adaptées à la forme. On se sert du chaînage pour déterminer l'emplacement et l'étendue des défauts dans le sens de la longueur.

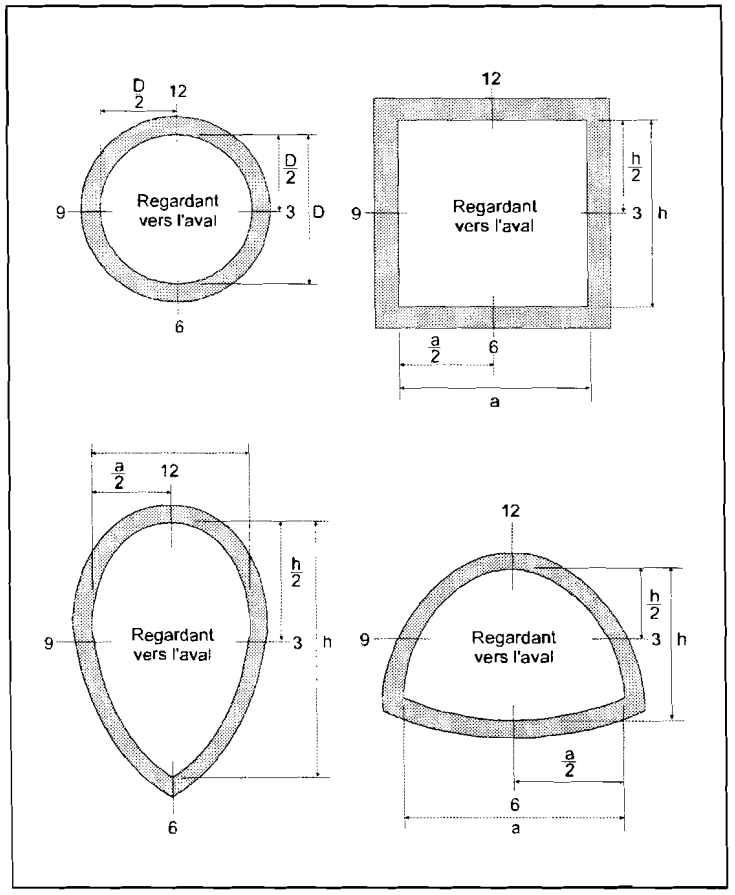


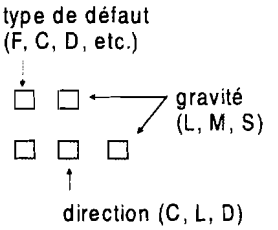
Figure 5.2 Positionnement horaire pour l'inspection et l'évaluation de l'état des collecteurs

5.2 Codage des défauts structuraux des conduites

Le tableau 5.1 montre les types de défauts qui peuvent être observés dans différents matériaux (la section 5.4 porte précisément sur les collecteurs en briques).

Chaque défaut est enregistré à l'aide d'un code à deux ou à trois lettres.

- Première lettre : type de défaut (par exemple, cassure ou fissure)*.
- Deuxième lettre (s'il y a lieu) : sens du défaut, soit circulaire (dans le sens de la circonférence de l'aire transversale de la conduite), longitudinal (dans le sens de l'axe de la conduite) ou diagonal (défaut formant un angle de 30° à 60° par rapport à l'axe longitudinal).
- Troisième lettre : niveau de gravité du défaut, soit léger (L), modéré (M) ou sévère (S).



Ainsi, le code de défaut structural FLL correspond à une cassure dans le sens de la longueur dont le niveau de gravité est léger.

* Il est à noter que les codes utilisés pour identifier le type de défaut ont été tirés de la terminologie anglaise afin de garder le système cohérent dans les deux langues et de permettre l'échange et la compilation des données au niveau national.

Tableau 5.1 Principaux défauts structuraux de divers types de conduites

Type de défaut	Type de conduite		
	Conduite rigide	Conduite rigide	Conduite métallique
Cassure (F)	x	x	x
Fissure (C)	x	x	–
Déformation (D)	x	x	x
Effondrement (X)	x	x	x
Bris de conduite (B)	x	x	x
Déplacement de joints (JD)	x	x	x
Ouverture de joints (JO)			
Dommage superficiel (H)			
Flambage localisé	–	x	x
Corrosion	–	–	x
Écaillage	x	–	–
Usure	x	x	x
Affaissement (S)	x	x	x

5.2.1 Cassure (F)

Une cassure est une fissure traversante ou ouverte de plus de 5 mm de largeur (figure 5.3). Les cassures sont souvent accompagnées d'une déformation et de signes d'infiltration (traces de sol). Il est difficile de distinguer les fissures des cassures lorsque les cassures sont fermées du côté intérieur de la paroi. Si les méthodes d'inspection employées ne permettent pas d'évaluer l'état du collecteur sous le niveau d'eau, il peut être impossible de déceler les cassures situées sous cette ligne si la conduite n'a pas été complètement asséchée au préalable.

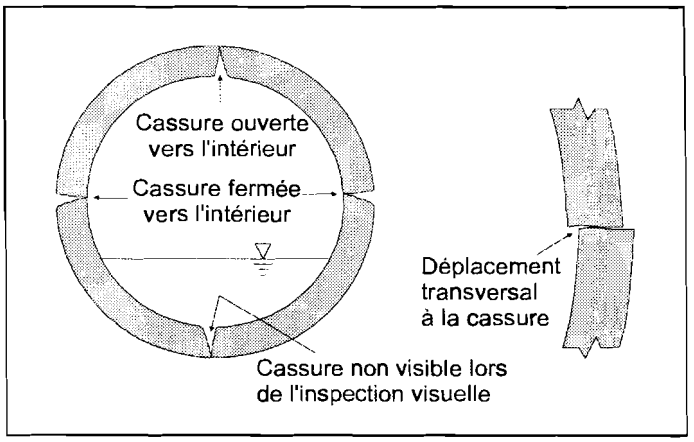


Figure 5.3 Cassures longitudinales

Le nombre de cassures et leurs dimensions sont une indication de la gravité de la détérioration. Dans le cas des cassures longitudinales et diagonales, on compte le nombre de cassures sur tout le pourtour de la conduite. Dans le cas des cassures circulaires, on dénombre les cassures à l'intérieur de chaque unité primaire d'évaluation. On emploie la même méthode pour compter les fissures.

La présence de ***cassures légères*** peut indiquer la présence d'autres problèmes touchant l'intégrité de la structure conduite-sol, par exemple la contamination du sol et des eaux souterraines par une fuite des conduites d'égout, le début d'une intrusion racinaire dans les parties les moins profondes ou l'érosion de la fraction fine du sol et la perte de support de la conduite, susceptibles d'entraîner des cassures plus graves.

Cassure longitudinale légère (FLL) : Cassure longitudinale simple de moins de 10 mm de largeur avec peu de signes de lessivation du sol.

Cassure circulaire légère (FCL) : Cassure circulaire ne touchant pas tout le pourtour de la conduite, de moins de 10 mm de largeur, sans déplacement transversal.

Cassure diagonale légère (FDL) : Cassure diagonale simple de moins de 10 mm avec peu de signes d'infiltration.

La présence de ***cassures modérées*** indique un risque important de perte de support en raison d'une forte probabilité d'infiltration et de lessivation du sol et une possibilité élevée de contamination du sol et des eaux souterraines. Les cassures modérées peuvent être produites par des surcharges excessives exercées sur la conduite. Si les cassures sont accompagnées d'un déplacement transversal, l'écoulement peut être entravé.

Cassure longitudinale modérée (FLM) : Cassure longitudinale simple de 10 à 25 mm de largeur avec déplacement transversal équivalant à moins de la moitié de l'épaisseur de la paroi ou de deux à quatre cassures sans déplacement transversal.

Cassure circulaire modérée (FCM) : Cassure sur tout le pourtour de moins de 10 mm de largeur avec déplacement équivalant à moins de la moitié de l'épaisseur de la paroi ou cassure simple sur tout le pourtour de 10 à 25 mm de largeur sans déplacement transversal ou deux à quatre cassures sans déplacement transversal.

Cassure diagonale modérée (FDM) : Cassure diagonale simple de 10 à 25 mm de largeur ou cassure simple de moins de 10 mm de largeur avec déplacement transversal équivalent à moins de la moitié de l'épaisseur de la paroi ou deux à quatre cassures sans déplacement transversal.

Une ***cassure sévère*** indique une modification des conditions de charge extérieures, et le sol qui entoure la conduite est visible de l'intérieur. Le collecteur peut être instable dans des conditions de charge asymétriques. Il faut mener des études plus approfondies pour déterminer les travaux de réhabilitation les plus urgents.

Cassure longitudinale grave (FLS) : Cassure longitudinale simple de plus de 25 mm de largeur sans déplacement transversal ou cassure simple de moins de 25 mm de largeur avec déplacement transversal équivalent à plus de la moitié de l'épaisseur de la paroi ou cinq cassures ou plus survenant simultanément.

Cassure circulaire grave (FCS) : Cassure circulaire de plus de 25 mm de largeur sans déplacement transversal ou de moins de 25 mm de largeur avec déplacement transversal équivalent à plus de la moitié de l'épaisseur de la paroi ou cinq cassures ou plus survenant simultanément.

Cassure diagonale grave (FDS) : Cassure diagonale simple de plus de 25 mm de largeur ou cassure simple de moins de 25 mm de largeur avec déplacement transversal équivalent à plus de la moitié de l'épaisseur de la paroi ou cinq cassures ou plus survenant simultanément.

Cassures multiples (FM) : Cassures longitudinales, circulaires et diagonales survenant simultanément, sans égard au degré de gravité de chaque cassure, et trop nombreuses pour être comptées.

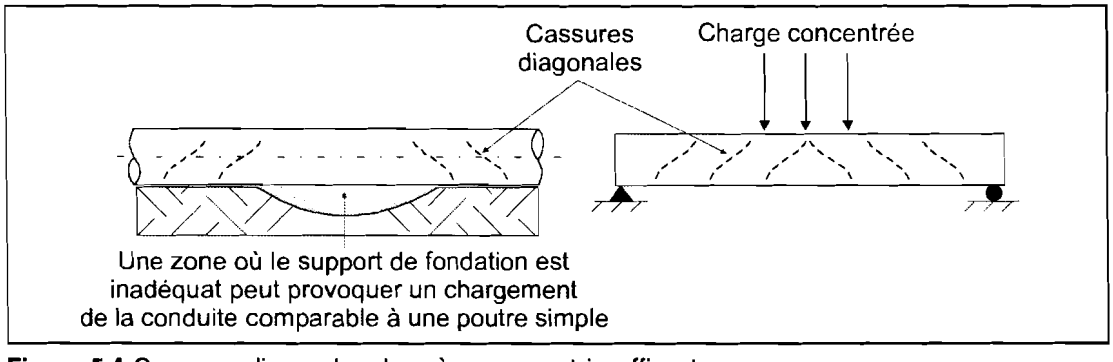


Figure 5.4 Cassures diagonales dues à un support insuffisant

Les cassures multiples indiquent une structure instable présentant une probabilité élevée d'effondrement et nécessitent des travaux immédiats de réhabilitation[3]. Des venues d'eau ou des infiltrations importantes peuvent contaminer le sol et éroder le sol porteur.

Les cassures diagonales forment un angle de 30 à 60° par rapport à l'axe longitudinal de la conduite (figure 5.4). Elles peuvent indiquer un problème de support structural qui, s'il n'est pas corrigé, pourrait occasionner les mêmes dommages à une nouvelle conduite. La configuration des cassures pourrait fournir une indication sur l'emplacement et la cause du problème.

5.2.2 Fissures (C)

Les fissures sont des défauts superficiels fermés qui ne font pas plus de 5 mm de largeur et qui n'entraînent pas de déplacement transversal de la paroi de la conduite. Les fissures sont une forme de cassures légères. Il est important d'établir la distinction entre les fissures et les cassures si l'on se sert des données d'inspection pour suivre l'évolution des dommages.

Les ***fissures légères*** sont un signe de détresse à l'intérieur d'un tronçon de conduite. Bien qu'une légère fissure ne constitue pas un problème grave, on doit en prendre note pour être en mesure d'établir des comparaisons par la suite. Certaines fissures présentent dans le béton coulé en place peuvent en fait correspondre à la jonction de deux coulées de béton.

Fissure longitudinale légère (CLL) : Jusqu'à trois fissures longitudinales, pas de signes de fuite.

Fissure circulaire légère (CCL) : Fissure circulaire, pas de signes de fuite, jusqu'à trois fissures.

Fissure diagonale légère (CDL) : Jusqu'à trois fissures, pas de signes de fuite.

Les ***fissures modérées*** sont plus sérieuses parce qu'elles indiquent ordinairement des conditions de charge qui dépassent les paramètres de calcul de la conduite, une qualité de conduite qui ne répond pas aux normes ou une combinaison de ces deux problèmes. On parle de fissures modérées lorsqu'on compte plus de trois fissures à l'intérieur d'une unité primaire d'évaluation. Les fissures modérées sont généralement accompagnées de signes de fuite.

Fissure longitudinale modérée (CLM) : Plus de trois fissures longitudinales avec signes de fuite.

Fissure circulaire modérée (CCM) : Plus de trois fissures circulaires avec signes de fuite.

Fissure diagonale modérée (CDM) : Plus de trois fissures diagonales avec signes de fuite.

Fissures graves (CS) **:** On parle de fissures graves lorsqu'on observe des fissures multiples de forme arborescente. Dans les conduites en béton, les fissures graves peuvent être dues au cycle de gel et de dégel qui touche le périmètre de la conduite ou à une attaque extérieure par les sulfates. Dans certaines conduites en plastique, les fissures graves peuvent être des fissures de contrainte.

5.2.3 Déformation (D)

Une conduite déformée présente une aire transversale réduite. Une conduite flexible de section circulaire prend, lorsque elle est déformée, une forme elliptique (figure 5.5). Au cours d'une inspection, on peut facilement déceler les déformations en mesurant la hauteur de la conduite et en déterminer son étendue à l'aide des chaînages. On peut ensuite calculer les variations de l'aire transversale à l'aide de l'équation 5.1.

Les déformations peuvent entraîner une réduction du débit hydraulique et une surcharge de certains tronçons. Dans les conduites rigides, les déformations sont

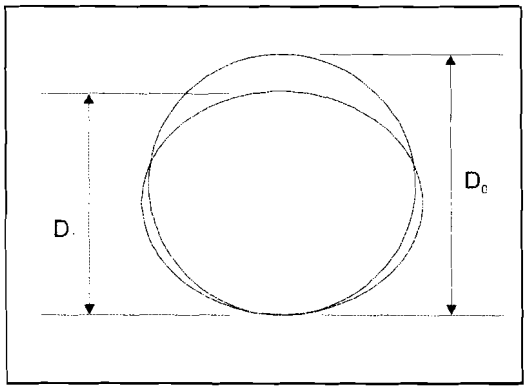


Figure 5.5 Déformation d'une conduite flexible

généralement accompagnées de fissures et de cassures. Dans les conduites flexibles, les déformations sont caractérisées par une réduction de la hauteur (ou une augmentation de la largeur) de l'aire transversale. Il faut vérifier l'intégrité des joints situés immédiatement en amont et en aval d'un tronçon déformé. Dans les conduites revêtues ou gainées, la déformation du revêtement ou de la gaine se définit de la même manière que la déformation de la conduite proprement dite. Dans une conduite flexible, le flambage est une forme extrême de déformation localisée causée par les charges hydrostatiques externes, les charges thermiques du sol ou d'autres facteurs mécaniques (par exemple, la charge ponctuelle exercée par un bloc rocheux dans le remblai ou l'assise ou l'action des racines).

Déformation légère (DL) : Déformation apparente mais correspondant à une variation de diamètre de moins de 5 %.

Déformation modérée (DM) : Déformation entraînant une variation de diamètre de 5 à 10 %. Dans une conduite rigide, une déformation modérée est généralement accompagnée de fissures et de cassures.

Déformation sévère (DS) : Déformation entraînant une variation de diamètre de 11 à 25 %. La conduite peut conserver son intégrité structurale, mais des cassures peuvent être présentes aux abords de la déformation. Dans l'hypothèse où une conduite déformée prend une forme elliptique, la relation entre la variation de diamètre et la variation d'aire transversale s'exprime comme suit :

$$\frac{A_1}{A_0} = 1.913\frac{D_1}{D_0} - 0.913\left(\frac{D_1}{D_0}\right)^2$$

où :
A_1 est l'aire transversale de l'ellipse
A_0 est l'aire transversale d'origine
D_1 est l'axe vertical de l'ellipse
D_0 est le diamètre intérieur d'origine.

$$\Delta A\%_0 = \left(1 - \frac{A_1}{A_0}\right)\cdot 100$$

$$\Delta D\% = \left(1 - \frac{D_1}{D_0}\right)\cdot 100$$

La réduction du diamètre vertical et de l'aire transversale se calcule donc comme suit :

On peut se servir du diagramme de la figure 5.6 pour estimer la réduction d'aire transversale à partir du pourcentage de variation du diamètre vertical établi au cours de l'inspection.

Pour les conduites flexibles, les valeurs de 5 % et de 7 % sont généralement considérées comme les limites de déformation à court et à

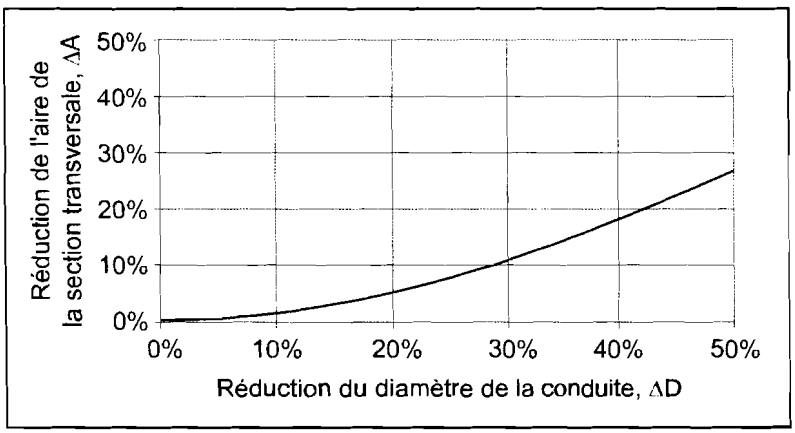


Figure 5.6 Relation entre la variation de diamètre et la variation d'aire

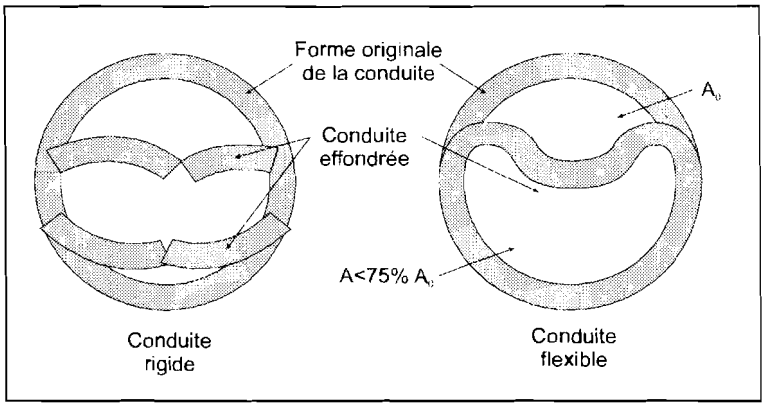


Figure 5.7 Modes d'effondrement des conduites rigides et flexibles

long terme [55]. Selon le groupe de travail sur les caractéristiques d'écoulement des réseaux de conduites de l'American Society of Civil Engineers[8], une déformation de 10 % n'entraîne qu'une diminution négligeable de la capacité d'écoulement des conduites. Une variation de diamètre de 7 % est donc considérée comme une déformation modérée. Lorsque cette déformation atteint les 25 %, une rupture due à une courbure inversée est imminente et l'effondrement est réputé avoir eu lieu.

5.2.4 Effondrement (X)

L'effondrement d'une conduite rigide (figure 5.7) sera précédé de cassures sévères. Les conduites flexibles peuvent s'effondrer sans présenter de fissures ou de cassures préalables. Lorsqu'une conduite flexible affiche une variation de diamètre de plus de 25 % (courbure inversée) ou lorsqu'une conduite rigide a perdu son intégrité structurale, l'effondrement est réputé avoir eu lieu. Le collecteur nécessite une intervention immédiate.

Dans le cas de collecteurs circulaires présentant un diamètre (D) de plus de 900 mm, la profondeur relative théorique d'écoulement recommandée [48] (h/D) se situe entre 0,8 et 0,95. Une réduction de diamètre d'à peine 5 % peut exercer sur une conduite à écoulement libre une surcharge susceptible d'entraîner la fissuration de la conduite ou une perte de support.

5.2.5 Bris de conduite (B)

Il y a bris de conduite lorsque la conduite présente un trou de plus de 100 mm de diamètre ou, s'il s'agit d'un défaut rectangulaire de plus de 100 x 100 mm ou l'équivalent. Dans le cas d'un bris, les morceaux de conduite se détachent de la paroi. Ces bris se produisent généralement lorsque des cassures multiples (FM) surviennent à l'emplacement ou à proximité des joints déformés, mais ils peuvent aussi se produire au moment de la construction.

Contrairement aux effondrements, les bris de conduite sont localisés et l'intégrité de la conduite n'est pas compromise. Un bris de conduite peut toutefois donner lieu à une lessivation importante du sol et occasionner des problèmes plus graves. Les fuites peuvent également contaminer le sol. Une conduite brisée nécessite généralement des réparations ponctuelles.

5.2.6 Déplacements de joints (JD)

Il y a déplacement de joints lorsque la conduite présente un déplacement latéral (perpendiculairement à l'axe de la conduite) à l'emplacement d'un joint, ce qui se traduit par un changement abrupt dans la paroi à cet endroit (figure 5.8). Un joint déplacé peut être ouvert ou non (emboîtement détaché). Le

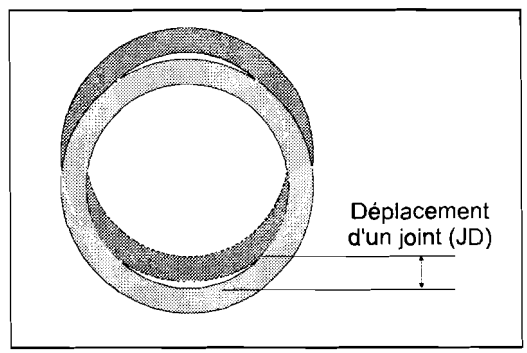


Figure 5.8 Déplacement d'un joint

déplacement de joints peut être attribuable à l'affaissement de l'assise, à des conditions de chargement asymétriques, à une perte de support latéral due à des travaux de construction à proximité, à une insuffisance de dispositifs de retenue à l'emplacement des coudes et des tés, à des erreurs de construction initiale ou à des secousses sismiques.

Les joints déplacés ou ouverts augmentent aussi le coefficient de Manning[8], ce qui signifie que la surface intérieure, devenu plus rugueuse, réduit la capacité hydraulique de la conduite.

Déplacement de joint léger (JDL) :
Déplacement apparent mais inférieur à un quart de l'épaisseur de la paroi de la conduite sans signes de fuite (mais possibilité de venue d'eau ou d'infiltration) et sans risque de réduction du débit.

Déplacement de joint modéré (JDM) :
Déplacement supérieur à un quart mais inférieur à la moitié de l'épaisseur de la paroi de la conduite. Infiltrations et fuites parfois apparentes. Risque plus élevé de lessivation du sol et de contamination des eaux souterraines. Réduction manifeste du débit.

Déplacement de joint sévère (JDS) :
Déplacement supérieur à la moitié de l'épaisseur de la paroi. Réduction du débit susceptible d'entraîner une surcharge du collecteur, surcharge qui exerce des contraintes sur la conduite (ou en cause la fissuration). Infiltrations et lessivation des sols manifestes.

5.2.7 Ouverture de joint (JO)

On parle d'ouverture d'un joint lorsque deux tronçons adjacents de conduite sont dissociés dans le sens de la longueur et laissent voir un jeu (figure 5.9). Les infiltrations et les fuites peuvent être manifestes et entraîner une perte de support et la contamination du sol et des eaux souterraines. L'ouverture et le déplacement de joints ont des causes semblables. La pénétration des racines par les ouvertures peut aussi aggraver le problème. Lorsque le bout femelle empêche la libre circulation par le joint, l'ouverture des joints est moins sévère qu'une cassure circulaire. Si le joint s'ouvre à suite du déplacement vertical de l'un des tronçons de conduite, on observera un déplacement angulaire (figure 5.10), et la taille de l'ouverture variera sur tout le pourtour.

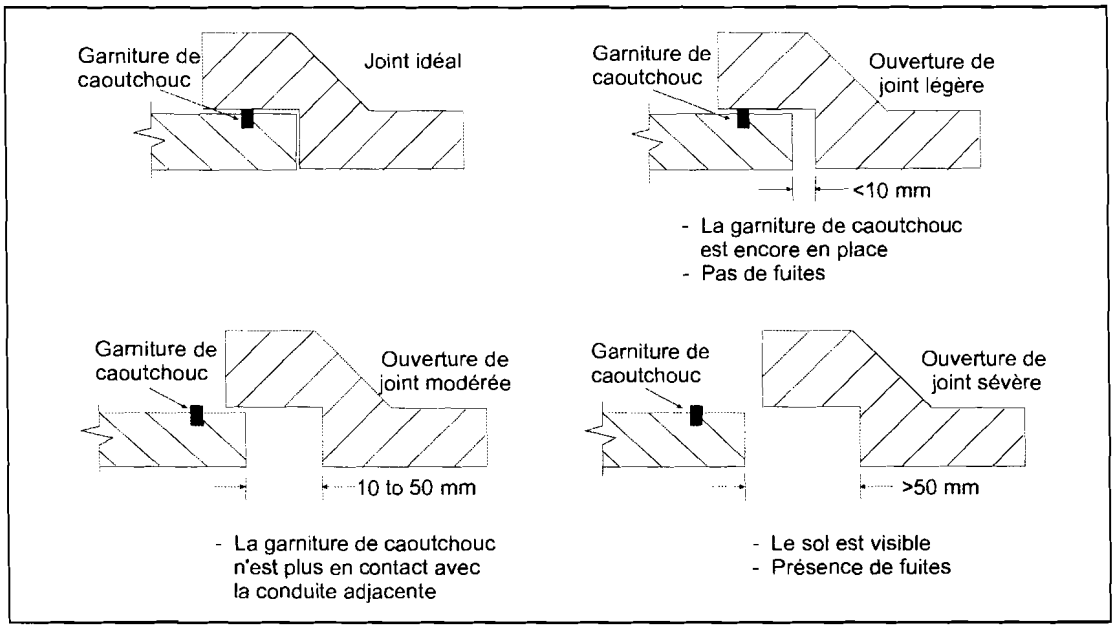


Figure 5.9 Ouverture de joint avec déplacement longitudinal

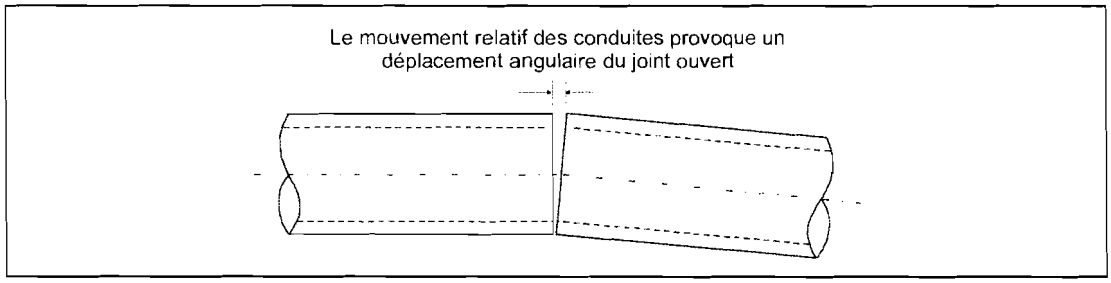


Figure 5.10 Ouverture de joint avec déplacement angulaire

Ouverture de joint légère (JOL) : Ouverture de moins de 10 mm; la garniture est encore en place; pas de fuites.

Ouverture de joint modérée (JOM) : Ouverture de 10 à 50 mm; la garniture ne forme plus un joint étanche mais le sol d'enrobage n'est pas visible de l'intérieur. Les fuites peuvent être manifestes, et les débris peuvent s'accumuler dans le joint ouvert.

Ouverture de joint sévère (JOS) : L'ouverture fait plus de 50 mm ou le sol d'enrobage est visible de l'intérieur. On observe des signes de fuite et de lessivation du sol, et il peut y avoir déplacement latéral du joint.

5.2.8 Dommage superficiel (H)

Les dommages superficiels sont des dommages causés à la surface interne de la conduite par des attaques chimiques, des attaques biologiques ou l'usure. Dans les conduites en béton, les dommages superficiels comprennent l'écaillage du matériau ainsi que la dénudation et la corrosion des armatures. Dans les conduites métalliques, ces dommages sont surtout dus à la corrosion. Dans les conduites revêtues ou gainées, les dommages qui touchent le revêtement ou la gaine sont considérés comme des dommages superficiels.

Dommage superficiel léger (HL) : Dommage superficiel peu important (moins de 5 mm de profondeur). Écaillage ou signe d'usure d'une conduite en béton; piqûre d'une conduite métallique, la conduite conserve son intégrité structurale, mais on peut observer des signes de corrosion; pertes locales d'adhérence du revêtement ou de la gaine. Il faut noter les zones présentant des dommages superficiels légers à des fins de réinspection.

Dommage superficiel modéré (HM) : Dommage superficiel de 5 à 10 mm de profondeur. Écaillage ou usure, présence de vides et dénudation des granulats dans une conduite en béton; corrosion importante d'une conduite métallique; perte importante d'adhérence du revêtement ou de la gaine. L'intégrité structurale peut être affaiblie. Il peut être nécessaire de rechercher la cause du dommage (par exemple, qualité du béton, composition des eaux usées ou présence de produits chimiques corrosifs).

Dommage superficiel sévère (HS) : Dommage superficiel de plus de 10 mm de profondeur. Écaillage ou usure, dénudation des granulats ou corrosion de l'armature en acier; trous de corrosion dans une conduite métallique; pelage ou perte totale d'adhérence sur le pourtour du revêtement ou de la gaine. L'intégrité structurale de la conduite peut être compromise. Il faut rechercher sans délai la cause du problème.

5.2.9 Affaissement (S)

Un affaissement est un tassement localisé d'un collecteur. Il peut provenir d'un tassement différentiel de l'assise, du lessivage des matériaux d'assise ou d'une erreur de mise en place au moment de la construction. Au cours d'une inspection, on note le début et la fin de l'accumulation d'eau, qui est le principal

Tableau 5.2 Défauts structuraux, codes et coefficients de pondération pour les conduites

Type de défaut	Code	Unité de mesure	Coefficient de pondération
Cassure longitudinale (FL)			
- légère (< 10 mm de largeur)	FLL	mètre	5
- modérée (10 à 25 mm de largeur ou 2 à 4 cassures)	FLM	mètre	10
- sévère (> 25 mm de largeur ; 5 cassures ou plus)	FLS	mètre	15
Cassure circulaire (FC)			
- légère (< 10 mm de largeur)	FCL	mètre	5
- modérée (10 à 25 mm ou 2 à 4 cassures)	FCM	mètre	10
- sévère (> 25 mm de largeur; 5 cassures ou plus)	FCS	mètre	15
Cassure diagonale (FD)			
- légère (< 10 mm de largeur)	FDL	mètre	5
- modérée (10 à 25 mm de largeur ou 2 à 4 cassures)	FDM	mètre	10
- sévère (> 25 mm de largeur; 5 cassures et plus)	FDS	mètre	15
Cassures multiple (FM)	FM	mètre	20
Fissure longitudinale (CL)			
- légère (au plus 3 fissures; pas de fuites)	CLL	mètre	3
- modérée (> 3 fissures; fuites)	CLM	mètre	5
Fissure circulaire (CC)			
- légère (au plus 3 fissures; pas de fuites)	CCL	mètre	3
- modérée (> 3 fissures; fuites)	CCM	mètre	5
Fissure diagonale (CD)			
- légère (au plus 3 fissures; pas de fuites)	CDL	mètre	3
- modérée (> 3 fissures; fuites)	CDM	mètre	5
Fissure sévère (CS)			
- sévère (fissures multiples; fuites)	CS	mètre	10
Déformation (D)			
- légère (variation de diamètre < 5 %)	DL	mètre	5
- modérée (variation de diamètre de 5 à 10 %)	DM	mètre	10
- sévère (variation de diamètre de 11 à 25 %)	DS	mètre	15
Effondrement (X) Le tronçon de conduite a perdu son intégrité structurale ou la déformation correspond à une variation de diamètre de plus de 25 %.	X	élément	20
Bris de conduite (B) (> 100 mm de diamètre ou aire >100 x 100 mm ou l'équivalent)	B	élément	15
Déplacement de joints (JD)			
- léger (< ¼ de l'épaisseur de la paroi)	JDL	élément	3
- modéré (¼ – ½ de l'épaisseur de la paroi)	JDM	élément	10
- sévère (> ½ de l'épaisseur de la paroi)	JDS	élément	15
Ouverture de joints (JO)			
- légère (< 10 mm, garniture en place)	JOL	élément	3
- modérée (10 à 50 mm, garniture déplacée, fuites)	JOM	élément	10
- sévère (> 50 mm, sol visible, fuite)	JOS	élément	15
Dommage superficiel (H)			
- léger (réduction d'épaisseur de la paroi < 5 mm, usure ou écaillage légers, piqûre des conduites métalliques)	HL	mètre	3
- modérée (réduction d'épaisseur de la paroi de 5 à 10 mm, dénudation de l'armature ou du granulat, corrosion importante des conduites métalliques)	HM	mètre	10
- sévère (réduction d'épaisseur de la paroi > 10 mm, corrosion de l'armature, trous de corrosion dans les conduites métalliques)	HS	mètre	15
Affaissement (S)			
- léger (< 50 mm)	SL	mètre	4
- modéré (50 à 100 mm)	SM	mètre	10
- sévère (> 100 mm)	SS	mètre	15

indicateur d'un affaissement (il faut s'assurer que la flaque n'est pas due à d'autres causes, par exemple, à une accumulation de débris en aval). Dans les conduites rigides, les affaissements peuvent être accompagnés de fissures ou de cassures.

Affaissement léger (SL) : Une modification du niveau d'eau d'au plus 50 mm est observée par les inspecteurs qui pénètrent dans la conduite ou une accumulation d'eau est visible (la variation de niveau doit être notée).

Affaissement modéré (SM) : Une modification du niveau d'eau de 50 à 100 mm est observée par les inspecteurs qui pénètrent dans la conduite ou, si l'inspection est menée à l'aide d'un système de télévision en circuit fermé, la caméra d'inspection peut être partiellement submergée.

Affaissement sévère (SS) : Une modification du niveau d'eau de plus de 100 mm est observée et, si l'inspection est menée à l'aide d'un système de télévision en circuit fermé, la caméra d'inspection peut être complètement submergée.

5.3 Coefficients de pondération des défauts structuraux

Après avoir noté les codes des défauts structuraux observés au cours de l'inspection, on peut appliquer à chaque défaut un coefficient de pondération. Le Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs décrit dans la présente section utilise des coefficients de pondération de 0 à 20 (tableau 5.2). Les différents types de défaut (et leur niveau de gravité) présentent en effet différents niveaux de risque pour l'intégrité structurale du collecteur. L'utilisation de coefficients de pondération nécessite une bonne dose de jugement subjectif[44]; aussi les utilisateurs devraient-ils tenter de maintenir une certaine uniformité dans l'application de ces coefficients.

Les coefficients de pondération servent à convertir le code de défaut en une *Cote d'état de la conduite* qui, combinés à la *Cote d'incidence de rupture* (section 3), permettront de prendre des décisions éclairées au sujet des inspections et des travaux de réparation subséquents.

5.4 Codage des défauts des collecteurs en briques

Compte tenu du peu de données fournies par les sources canadiennes sur les collecteurs en briques, le codage des défauts de ces collecteurs est fondé sur l'information tiré de l'ouvrage du Water Research Centre[52]. Les défauts propres aux collecteurs en briques sont décrits aux paragraphes 5.4.1 à 5.4.4. Le tableau des coefficients de pondération applicables aux collecteurs en briques (tableau 5.3) renferme les défauts propres à ce type de collecteurs ainsi que les défauts décrits aux paragraphes 5.3.1 à 5.3.9, qui peuvent également toucher les collecteurs en briques.

Pour élaborer le Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs décrit à la présente section, on a adopté et modifié certains éléments des procédures d'évaluation de l'état des conduites employées par la Ville d'Edmonton [15], la Ville de Phoenix[10] et le Water Research Centre[52] (Royaume-Uni). Cette méthode détaillée demeure toutefois facile à utiliser. L'annexe A renferme des tables de conversion des codes d'état employés dans ces systèmes au système d'évaluation et de codage des gros collecteurs.

Pour les collecteurs en briques (comme pour les autres types de collecteurs), le Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs utilise des tronçons de conduite de un mètre comme unité primaire d'évaluation et la longueur des tronçons délimités par deux regards comme unité d'évaluation secondaire (figure 5.1). On peut ainsi utiliser les données d'inspection pour repérer les problèmes localisés les plus graves de même que les tronçons du collecteur dont l'état général laisse à désirer. Lorsque la longueur entre deux regards est supérieure à 120 m, elle doit être divisée en longueurs égales de moins de 120 m.

Tableau 5.3 Défauts structuraux, codes et coefficients de pondération pour les collecteurs en briques

Type de défaut	Code	Unité de mesure	Coefficient de pondération
Briques déplacées (BD)			
- léger (briques individuelles déplacées)	BDL	élément	6
- modéré (groupe de briques représentant moins de 10 % déplacé ou partiellement délogé)	BDM	élément	12
- sévère (plus de 10 % des briques sont déplacées)	BDS	élément	18
Briques manquantes (MB)			
- léger (briques individuelles manquantes)	MBL	élément	5
- modéré (moins de 10 % des briques manquent, mais toutes les briques de radier sont en place)	MBM	élément	10
- sévère (plus de 10 % des briques manquent, y compris des briques de radier)	MBS	élément	20
Mortier manquant (MM)			
- léger (mortier manquant dans au plus 50 % des joints)	MML	mètre	5
- modéré (mortier manquant dans 50 à 90 % des joints)	MMM	mètre	10
- sévère (mortier manquant dans plus de 90 % des joints)	MMS	mètre	15
Abaissement du radier (DI)			
- léger (baisse de niveau < 50 mm)	DIL	mètre	12
- modéré (baisse de niveau de 50 à 100 mm)	DIM	mètre	18
- sévère (baisse de niveau > 100 mm)	DIS	mètre	20
Cassure longitudinale (FL)			
- léger (< 10 mm de largeur)	FLL	mètre	12
- modéré (10 à 25 mm de largeur ou 2 à 4 cassures)	FLM	mètre	18
- sévère (> 25 mm de largeur; 5 cassures et plus)	FLS	mètre	20
Cassure circulaire (FC)			
- léger (< 10 mm de largeur)	FCL	mètre	12
- modéré (10 à 25 mm ou 2 à 4 cassures)	FCM	mètre	18
- sévère (> 25 mm de largeur; 5 cassures ou plus)	FCS	mètre	20
Cassure diagonale (FD)			
- léger (< 10 mm de largeur)	FDL	mètre	12
- modéré (10 à 25 mm de largeur ou 2 à 4 cassures)	FDM	mètre	18
- sévère (> 25 mm de largeur; cassures multiples)	FDS	mètre	20
Fissure longitudinale (CL)			
- léger (au plus 3 fissures, pas de fuites)	CLL	mètre	5
- modéré (>3 fissures, fuites)	CLM	mètre	10
Fissure circulaire (CC)			
- léger (au plus 3 fissures, pas de fuites)	CCL	mètre	5
- modéré (> 3 fissures, fuites)	CCM	mètre	10
Fissure diagonale (CD)			
- léger (au plus 3 fissures, pas de fuites)	CDL	mètre	5
- modéré (> 3 fissures, fuites)	CDM	mètre	10
Fissure sévère (CS)			
- sévère (fissures multiples, fuites)	CS	mètre	10
Effondrement (X)			
Le tronçon de conduite a perdu son intégrité structurale	X	élément	20
Ouverture de joints (JO) (= décollement des briques)			
- léger (< 10 mm)	JOL	élément	2
- modéré (10 à 20 mm)	JOM	élément	5
- sévère (> 20 mm)	JOS	élément	18
Dommage superficiel (H)			
- léger (écaillage ou usure de la brique sur < 5 mm d'épaisseur)	HL	mètre	2
- modéré (réduction d'épaisseur des briques de 5 à 10 mm)	HM	mètre	5
- sévère (réduction d'épaisseur des briques >10 mm)	HS	mètre	10

5.4.1 Déplacement de briques (DB)

Déplacement de briques léger (DBL) : Des briques individuelles sont présentes mais déplacées.

Déplacement de briques modéré (DBM) : Un groupe de briques est présent mais déplacé ou partiellement délogé. Moins de 10 % des briques sont touchées.

Déplacement de briques sévère (DBS) : Plus de 10 % des briques sont présentes mais déplacées ou partiellement délogées.

5.4.2 Briques manquantes (MB)

Briques manquantes — Léger (MBL) : Briques individuelles manquantes (aucune brique de radier n'est touchée).

Briques manquantes — Modéré (MBM) : Groupe de briques manquant, mais moins de 10 % des briques sont touchées (y compris les briques de radier).

Briques manquantes — Sévère (MBS) : Plus de 10 % des briques manquent, proportion qui peut comprendre des briques de radier.

5.4.3 Mortier manquant (MM)

Mortier manquant — Léger (MML) : Mortier manquant dans au plus 50 % des joints.

Mortier manquant — Modéré (MMM) : Mortier manquant dans 50 à 90 % des joints.

Mortier manquant — Sévère (MMS) : Mortier manquant dans plus de 90 % des joints.

5.4.4 Abaissement du radier (DI)

Un abaissement du radier dans un collecteur en briques peut être assimilé à un affaissement (S) dans les autres types de collecteurs (voir le point 5.2.9), mais il peut présenter des discontinuités.

Abaissement du radier — Léger (DIL) : La baisse de niveau du radier est inférieure à 50 mm.

Abaissement du radier — Modéré (DIM) : La baisse de niveau du radier est de 50 à 100 mm.

Abaissement du radier — Sévère (DIS) : La baisse de niveau du radier est supérieure à 100 mm.

5.5 Codage des défauts fonctionnels

Si les défauts structuraux nécessitent ordinairement des réparations, les défauts fonctionnels appellent surtout des mesures d'entretien. Comme pour les défauts structuraux (sections 5.2 à 5.4), on attribue aux défauts fonctionnels un code à deux ou à trois lettres :

> Première lettre : type de défaut (par exemple, infiltration ou débris)
>
> Deuxième lettre (s'il y a lieu) : sens du défaut, soit circulaire (le long de la circonférence de l'aire transversale de la conduite), longitudinal (parallèlement à l'axe de la conduite) ou diagonal (défaut formant un angle de 30 à 60° par rapport à l'axe longitudinal).
>
> Troisième lettre : Niveau de gravité du défaut observé, soit léger (L), modéré (M) ou sévère (S).

Ainsi, le code de défaut fonctionnel RM correspond à une intrusion racinaire dont le niveau de gravité est modéré.

Principaux défauts fonctionnels :

- Racines (R)
- Débris (DE)
- Incrustation (E) (ou dépôt de calcaire)
- Raccordement pénétrant (P)
- Infiltration (I)

Plusieurs défauts fonctionnels ont une incidence sur l'aire transversale de la conduite et donc, sur le débit. Au cours d'une inspection, il est plus facile de mesurer une réduction du diamètre qu'une réduction de l'aire transversale. Pour déterminer la relation mathématique entre la réduction de diamètre et la réduction de l'aire transversale, on pose l'hypothèse d'un obstacle de type déversoir (figure 5.11). On peut ensuite calculer comme suit la relation entre la réduction de diamètre et la réduction d'aire transversale :

$$\beta_A = \frac{1}{\pi}\left[\cos(1-2\beta_D) - (1-2\beta_D)\sqrt{(1-2\beta_D)\beta_D}\right] \approx \beta_D$$

$$\beta_A = \frac{A_I}{A_0} \qquad \beta_D = \frac{h}{D_0} \qquad [5.3]$$

*Il est à noter que les codes utilisés pour identifier le type de défaut ont été tirés de la terminologie anglaise afin de garder le système cohérent dans les deux langues et de permettre l'échange et la compilation des données au niveau national.

A_I est l'aire transversale bloquée par l'obstruction
A_0 est l'aire transversale d'origine
h est la hauteur de l'obstruction de type déversoir
D_0 est le diamètre intérieur d'origine.

Comme la réduction du diamètre et la réduction de l'aire transversale sont comparables pour les obstructions du type déversoir, on peut se servir de la réduction de diamètre au lieu de la réduction d'aire transversale.

Il faut souligner que les coefficients de pondération des défauts fonctionnels qui modifient l'aire transversale sont fondés sur un niveau d'eau normal ne dépassant pas 0,8 D de la hauteur. Si le niveau d'eau normal d'un collecteur dépasse cette valeur, il faut appliquer un coefficient de pondération plus élevé.

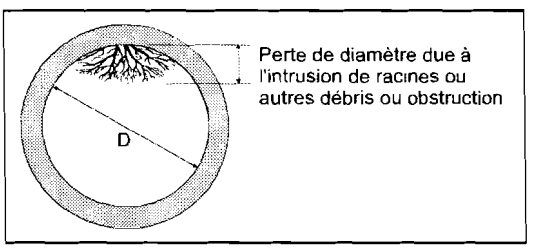


Figure 5.11 Intrusion de racines dans un collecteur

5.5.1 Racines (R)

Les racines envahissent les égouts à la faveur de certains défauts structuraux, comme les joints ouverts, les trous et les cassures. Les racines peuvent aussi s'introduire par les branchements défectueux et les regards. Une fois que les racines ont pénétré dans le collecteur, elles peuvent, en croissant, causer de nouvelles fissures et bloquer la conduite, ce qui donne lieu à des surcharges[8] et à des dommages structuraux. Cependant, comme les racines n'atteignent généralement pas plus de 5 m de profondeur, les gros collecteurs de plus de 5 m de profondeur ne sont ordinairement pas envahis par les racines.

Racines — Léger (RL) : De fines racines sont présentes mais elles n'ont pas d'effet notable sur le rendement du collecteur, et la réduction du diamètre est inférieure à 10 % ou des racines pivotantes sont présentes.

Racines — Modéré (RM) : Une natte racinaire entrave l'écoulement, et la réduction de diamètre se situe entre 10 et 25 %.

Racines — Sévère (RS) : Une masse importante de racines entrave l'écoulement, et la réduction de diamètre est supérieure à 25 %.

5.5.2 Débris (DE)

Les débris sont des dépôts de silt, de graisse et d'autres substances qui peuvent entraver l'écoulement. Les débris constitués de matériaux de construction sont appelés débris manufacturés et peuvent indiquer la présence d'un problème plus grave en amont. Comme pour les intrusions racinaires, on calcule la réduction de diamètre pour déterminer le niveau de gravité des débris.

Débris — Léger (DEL) : Des débris sont présents, mais ils n'entravent pas l'écoulement et n'ont que peu d'effet sur le rendement du collecteur, et la réduction du diamètre est inférieure à 10 %.

Débris — Modéré (DEM) : Des débris entravent l'écoulement, et la réduction du diamètre se situe entre 10 et 25 %.

Débris — Sévère (DES) : Des débris peuvent gêner le passage des appareils d'inspection, et la réduction du diamètre est supérieure à 25 %.

5.5.3 Incrustation (E)

Les incrustations sont des dépôts de calcaire produits par l'évaporation de l'eau ou la corrosion ou formés de coulis durci et qui ne peuvent être éliminés par rinçage. Les

incrustations peuvent indiquer la présence de déversements clandestins ou être attribuables à la composition chimique inhabituelle des eaux souterraines. Comme pour les intrusions de racines, on utilise la réduction de diamètre pour évaluer le niveau de gravité des incrustations (figure 5.12).

Incrustation légère (EL) : Les incrustations sont manifestes, mais la réduction du diamètre est inférieure à 10 %.

Incrustation modérée (EM) : Les incrustations entraînent une réduction du diamètre de 10 à 25 %.

Incrustation sévère (ES) : Les incrustations entraînent une réduction du diamètre de plus de 25 %.

5.5.4 Raccordement pénétrant (P)

Les branchements qui font saillie dans les gros collecteurs entraînent une réduction de l'aire transversale. Dans une étude portant sur un réseau d'égout de 180 kilomètres[44], on a observé de nombreux défauts aux abords des branchements. Environ un quart de tous les

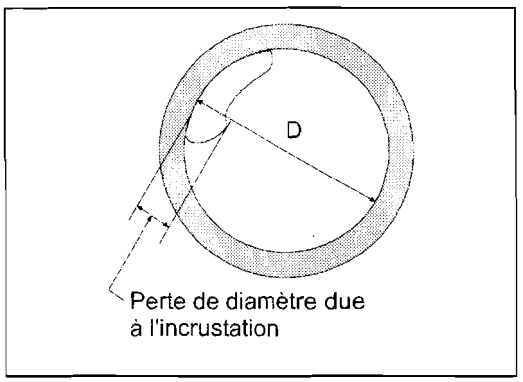


Figure 5.12 Incrustations dans un collecteur

raccords étudiés étaient défectueux, et le nombre de défauts observés dans les tronçons de conduite de 1 à 2 mètres de part et d'autre des raccords était 2,5 fois plus élevé que le nombre moyen de défauts décelés dans le reste du collecteur. Des infiltrations peuvent se produire à ces endroits si la nappe phréatique est plus élevée que le collecteur.

Les raccordements pénétrants peuvent entraver l'écoulement et causer des surcharges et ils sont souvent une source de venue d'eau ou

Tableau 5.4 Défauts fonctionnels, codes et coefficients de pondération pour les conduites

Type de défaut	Code	Unité de mesure	Coefficient de pondération
Racines (R)			
- léger (racines fines, réduction du diamètre < 10 %)	RL	élément	2
- modéré (réduction du diamètre de 10 à 25 %)	RM	élément	8
- sévère (réduction du diamètre > 25 %)	RS	élément	10
Débris (DE)			
- léger (réduction du diamètre < 10 %)	DEL	mètre	5
- modéré (réduction du diamètre de 10 à 25 %)	DEM	mètre	8
- sévère (réduction du diamètre > 25 %)	DES	mètre	10
Incrustation (E)			
- léger (réduction du diamètre < 10 %)	EL	mètre ou élément	2
- modéré (réduction du diamètre de 10 % à 2 5%)	EM	mètre ou élément	8
- sévère (réduction du diamètre > 25 %)	ES	mètre ou élément	10
Raccordement pénétrant (P)			
- léger (réduction du diamètre < 10 %)	PL	élément	2
- modéré (réduction du diamètre de 10 à 25 %)	PM	élément	8
- sévère (réduction du diamètre > 25 %)	PS	élément	10
Infiltrations (I)			
- léger (suintement, égouttures)	IL	élément	2
- modéré (ruissellement)	IM	élément	5
- sévère (giclement, jets)	IS	élément	10

d'infiltration, ce qui donne lieu à un lessivage du sol et peut occasionner une perte de support. Comme pour les intrusions de racines, on utilise la réduction de diamètre pour évaluer le niveau de gravité des raccordements pénétrants.

Raccordement pénétrant — Léger (PL) : Un raccord fait saillie dans le collecteur, mais il n'entrave pas l'écoulement, et la réduction du diamètre est inférieure à 10 %.

Raccordement pénétrant— Modéré (PM) : Un raccord fait saillie dans le collecteur et entraîne une réduction de diamètre de 10 à 25 %.

Raccordement pénétrant— Sévère (PS) : Un raccord fait saillie dans le collecteur et entraîne une réduction de diamètre de plus de 25 %.

5.5.5 Infiltrations (I)

Il y a infiltration lorsque l'eau souterraine pénètre dans la conduite d'égout par un défaut ou un joint défectueux. Les dépôts minéraux qui se forment sur les parois internes du collecteur indiquent souvent la présence d'infiltrations. Les infiltrations peuvent éroder la fraction fine des sols et augmenter le volume d'eau usée à transporter et à traiter.

Infiltrations légères (IL) : Les venues d'eau suintent ou s'écoulent goutte à goutte.

Infiltrations modérées (IM) : Les venues d'eau ruissellent.

Infiltrations sévères (IS) : Les venues d'eau giclent ou jaillissent.

5.6 Coefficients de pondération des défauts fonctionnels

Comme pour les défauts structuraux (section 5.3), on applique des coefficients de pondération aux défauts fonctionnels en se basant sur l'incidence relative de ces défauts sur l'aptitude au service du collecteur. Alors que les coefficients de pondération des défauts structuraux vont de 0 à 20, ceux qui s'appliquent aux défauts fonctionnels varient entre 0 et 10 (tableau 5.4).

5.7 Cote d'état des conduites

On peut noter l'état d'une longueur d'évaluation de conduite de trois manières, tant pour les défauts structuraux et que pour les défauts fonctionnels, à l'aide du Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs.

1. La note maximale (éq. 5.4) attribuée à une unité d'évaluation primaire (tronçon de 1 mètre) correspond au coefficient de pondération le plus élevé. Pour une unité d'évaluation secondaire (tronçon délimité par deux regards), la note maximale correspond au coefficient de pondération le plus élevé entre les deux regards.

Note maximale = Coefficient de pondération maximal pour les défauts [5.4]

2. La note globale est la somme de tous les coefficients de pondération attribués aux défauts observés à l'intérieur d'une longueur d'évaluation de 1 mètre ou d'une longueur d'évaluation délimitée par deux regards (éq. 5.5). Pour une longueur d'évaluation délimitée par deux regards, la note globale est fonction de la longueur évaluée. D'une part, un défaut sévère peut ne pas ressortir lorsqu'on établit une moyenne pour un tronçon de grande longueur. D'autre part, la présence de nombreux défauts mineurs observés à l'intérieur d'un tronçon, entre deux regards, de grande longueur peut produire une note globale beaucoup plus élevée que pour des tronçons plus courts.

Note globale = Σ (*coefficients de pondération des défauts*) [5.5]

3. La note moyenne correspond à la moyenne des coefficients de pondération des défauts observés sur toute la longueur d'évaluation (éq. 5.6). Pour une longueur d'évaluation de 1 mètre, la note moyenne

et la note globale sont identiques. Pour une longueur d'évaluation entre deux regards, la note moyenne dépend de la longueur du tronçon.

$$Note\ moyenne = \frac{\Sigma\ (coefficients\ de\ pondération\ des\ défauts)}{Longueur\ du\ tronçon} \qquad [5.6]$$

Les trois méthodes de notation donnent trois indicateurs différents de l'état de la conduite pour une longueur d'évaluation de 1 mètre ou une longueur d'évaluation comprise entre deux regards, chaque indicateur ayant son utilité lorsqu'on doit comparer l'état de deux collecteurs pour prendre des décisions de gestion (figure 5.1).

Les plages de valeurs des notes maximales et la cote d'état structural R_{str} correspondante pour l'unité primaire d'évaluation (longueur d'évaluation de 1 mètre) sont indiquées au tableau 5.5. Les cotes d'état fonctionnel R_{ser} sont données au tableau 5.6.

Tableau 5.5 Cote d'état structural des collecteurs (longueur d'évaluation = 1 m)

Plage des notes maximales	Cote d'état structural, R_{str}
0	0
1 – 4	1
5 – 9	2
10 – 14	3
15 – 19	4
20	5

Tableau 5.6 Cote d'état fonctionnel des collecteurs (longueur d'évaluation = 1 m)

Plage des notes maximales	Cote d'état fonctionnel, R_{ser}
0	0
1 – 2	1
3 – 4	2
5 – 6	3
7 – 8	4
9 – 10	5

5.8 État observé au cours des inspections précédentes

On doit comparer, tronçon par tronçon, les cotes d'état des inspections antérieures et les nouvelles cotes. On peut ensuite se servir de ces données historiques sur l'état d'un collecteur pour en prédire la vie utile restante et établir le calendrier des travaux de réhabilitation et d'inspection. Les résultats des inspections subséquentes, pour un même collecteur, ajouteront à la précision de l'analyse.

5.9 Évaluation des collecteurs réhabilités

Dès que les travaux de réhabilitation sont terminés, il faut évaluer l'état du collecteur à l'aide du Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs. Cette évaluation permet de contrôler la qualité des travaux de réhabilitation et fournit les renseignements nécessaires à la mise à jour des bases de données (section 8). Les résultats de l'évaluation après réhabilitation permettront d'établir le calendrier des inspections subséquentes, comme il est indiqué au tableau 4.1.

Étant donné que les projets de réhabilitation peuvent aller de simples réparations ponctuelles au remplacement complet de l'ouvrage et que chaque collecteur a des caractéristiques qui lui sont propres, il est très difficile d'assembler les données de manière à pouvoir estimer la durée de vie prévue des collecteurs remis en état. Bien que dans certains cas, les ouvrages soient remis à l'état presque neuf, il arrive aussi que les travaux ne servent qu'à augmenter marginalement la vie utile du collecteur.

Après la réhabilitation d'un tronçon donné de collecteur, de nouveaux défauts peuvent apparaître à l'extérieur de la zone de réhabilitation. Ainsi, lorsqu'on réduit les venues d'eau et les infiltrations dans une zone, la nappe phréatique peut s'élever en d'autres endroits, ce qui risque de provoquer une lessivation des sols et des infiltrations dans les zones adjacentes.

6. Réhabilitation d'une conduite

L'évaluation de l'état d'un collecteur fournit des données essentielles qui permettent de prendre des décisions éclairées sur le calendrier et la portée des travaux de réhabilitation. Le choix d'une méthode de réhabilitation doit tenir compte de différents facteurs, dont l'adéquation, les coûts, l'accessibilité et les interruptions de service. La présente section renferme une brève description des techniques actuelles de réhabilitation ainsi que des estimations des coûts fondées sur des cas types.

6.1 Décision quant à la nécessité des travaux

Combinée à la cote d'incidence de rupture (section 3), la cote d'état structural d'un collecteur fournit une indication du niveau de priorité des travaux de réhabilitation (tableau 6.1). Lorsqu'elle s'appuie sur un bon jugement au niveau technique, cette méthode logique permet de comparer les besoins de réhabilitation et d'établir le calendrier des travaux pour l'ensemble d'un réseau d'égout.

Selon l'état de l'ouvrage, on peut prendre l'une ou l'autre des mesures suivantes :

- Inspection de suivi des zones endommagées
- Réparations ponctuelles
- Réhabilitation de un ou plusieurs tronçons délimités par des regards
- Réhabilitation du collecteur
- Remplacement du collecteur si celui-ci est dans un état tel que sa réhabilitation ne constituerait pas la meilleure solution[49]

Le type de réparation à exécuter peut être déterminé à partir de la base de données sur l'état des collecteurs. Si les travaux de réparation et de réhabilitation sont bien faits, l'état des tronçons réparés peut être comparable ou supérieur à celui du reste du collecteur.

6.2 Choix des techniques de réhabilitation

Après avoir décidé de remettre un collecteur ou une partie d'un collecteur en état, il faut choisir la technique de réhabilitation la mieux adaptée.

Tableau 6.1 Niveaux de priorité des travaux de réhabilitation

Cote d'état structural (R_{str})	Répercussion	Cote d'incidence de rupture (R_{imp})	Niveau de priorité des travaux de réhabilitation
5	Rupture ou rupture imminente	1 à 5	Priorité absolue
4	· Très mauvais état	5	Priorité absolue
	· Risque structural élevé	1 à 4	Élevé
3	· Mauvais état	4 à 5	Modéré
	· Risque structural modéré	1 à 3	Faible
2	· État satisfaisant	1 à 5	Faible
	· Risque structural faible		Aucune
1 ou 0	Bon ou excellent état	1 à 5	Aucune intervention n'est nécessaire

Le Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs produit pour chaque tronçon de collecteur une cote d'état structural et en indique les principaux défauts et leur ampleur. Il faut choisir la technique de réhabilitation qui permettra d'éliminer les principaux défauts tout en corrigeant les autres défauts mineurs.

On peut constituer des bases de données axées sur les défauts qui établissent une correspondance entre les types de défaut et les options viables de réhabilitation (un exemple est donné au tableau 6.2). Les municipalités peuvent compiler des tableaux semblables pour chaque type de défaut. Au moment de recueillir des données sur les coûts, les municipalités peuvent indiquer des fourchettes de coûts (faible, moyen, élevé) pour tenir compte des conditions propres à chaque projet de réhabilitation. La section 6.3 renferme une description des techniques actuelles de réhabilitation. Le coût des différentes méthodes de réhabilitation peut varier considérablement selon l'emplacement et la profondeur d'enfouissement du collecteur et l'ampleur des travaux à exécuter (économies d'échelle). Il faut par ailleurs tenir compte des autres coûts indirects et sociaux, notamment la perturbation des autres services publics et le détournement de la circulation.

Lorsqu'on examine les différentes options de réhabilitation, il faut tenir compte de l'état et de la durée de vie utile que chaque méthode permet d'obtenir. Dans certaines conditions, on peut souhaiter obtenir une durée de vie donnée plutôt qu'une vie utile maximale. Ainsi, on peut remettre en état un tronçon de collecteur présentant une cote 5 de manière à porter sa vie utile à 10 ans, période au terme de laquelle la totalité du collecteur sera remplacée. De nombreux autres facteurs, qui ne s'inscrivent pas dans le cadre du présent guide, interviennent aussi dans le choix d'une méthode de réhabilitation appropriée, notamment :

Tableau 6.2 Modèle de tableau de consignation des données de réhabilitation

Options	Caractéristiques et applications	Coût unitaire	Vie utile (années)
Cassures multiples			
Injection de coulis	Efficace pour colmater les petits trous et les fissures radiales. Pour obtenir une bonne adhérence, il faut nettoyer les surfaces cassées. Le coulis ne contribue pas à la résistance structurale.	(remarque)	(remarque)
Enduits	Offrent une protection contre l'abrasion et la corrosion et améliorent les caractéristiques hydrauliques. Les surfaces à réparer doivent être sèches et propres.	(remarque)	(remarque)
Revêtements structuraux	Offerts en plusieurs formes; la conduite doit être propre. Il peut être nécessaire de procéder à un pompage en dérivation.	(remarque)	(remarque)
Remplacement complet	On doit généralement faire une excavation à ciel ouvert et détourner la circulation.	(remarque)	(remarque)

Remarque : Les données sur le coût unitaire et la durée de vie sont fondés sur les projets antérieurs. L'information sur les coûts peut également être exprimée sous forme de fourchette et de moyenne.

- les caractéristiques hydrauliques du collecteur;
- les travaux prévus de réfection des routes;
- les travaux antérieurs de réhabilitation;
- les caractéristiques des eaux souterraines (lorsque la nappe phréatique est plus élevée que le sommet du collecteur, il ne faut pas utiliser de revêtements non structuraux);
- le choix de matériaux pouvant résister aux attaques chimiques du sol, des eaux souterraines et des eaux usées;
- le coût du cycle de vie;
- la compatibilité des différents matériaux de conduite (par exemple, les joints entre le béton et les conduites en plastique utilisées pour la réhabilitation par tubage de tronçons adjacents)
- le risque de secousses sismiques ou d'inondation;
- les économies d'échelle.

6.3 Options de réhabilitation

Les paragraphes qui suivent donnent une description des méthodes éprouvées de réhabilitation, de leurs applications et de leurs limites [6,4,52,54]. En général, il faut nettoyer les gros collecteurs avant de commencer les travaux de réhabilitation. Certaines techniques exigent que des personnes pénètrent dans le collecteur et que des consignes de sécurité appropriées soient appliquées (section 2). Selon les techniques choisies, on pourra utiliser les regards existants ou devoir construire des puits d'accès temporaires. Certaines techniques peuvent être utilisées lorsque le niveau d'eau est suffisamment bas tandis que d'autres nécessitent l'assèchement du collecteur.

6.3.1 Injection de coulis à l'intérieur et à l'extérieur

Injection de coulis à l'intérieur : Méthode fréquemment utilisée pour colmater les fuites dans des collecteurs dont l'intégrité structurale n'est pas menacée. L'injection de coulis à l'intérieur stabilise la conduite en colmatant les fissures et les cassures mais ce procédé n'est pas considéré comme une réparation structurale. On injecte des produits chimiques (agents de stabilisation chimique) ou de la résine époxyde à des endroits stratégiques par des orifices d'injection ménagés dans des trous forés dans la paroi de la conduite. Des personnes doivent pénétrer dans le collecteur, et les zones des travaux d'injection doivent être nettoyées au préalable.

Injection de coulis à l'extérieur : Méthode qui consiste à remplir les vides présents dans le sol porteur au-delà de la paroi de la conduite. L'injection de coulis à l'extérieur contribue à stabiliser le sol environnant, rétablit la capacité portante du sol et réduit les fuites. On peut utiliser des produits chimiques et des matériaux à base de ciment.

On peut injecter le coulis depuis l'intérieur de la conduite dans des orifices forés dans la paroi ou à partir de la surface dans des trous forés dans le sol. Ces travaux sont relativement peu coûteux et ne perturbent pas les autres services publics enfouis. Le type de matériau à réparer n'a pas d'importance, et un niveau d'eau peu élevé ne gênera pas les travaux. Bien que l'injection de coulis à l'extérieur augmente la résistance des sols environnants, elle n'a pas d'effet sur la résistance structurale du collecteur.

6.3.2 Réparations ponctuelles

Colmatage des joints : Type de réparation ponctuelle non structurale qui peut être effectuée sur des collecteurs d'au plus 2500 mm de diamètre. Deux techniques peuvent être employées. On peut injecter de la résine époxyde dans le joint derrière un manchon pneumatique de réparation, qui demeure en

place jusqu'à ce que la résine ait durci. On peut également utiliser un mélange de résine, d'eau et de latex. Le manchon de réparation a une forme annulaire, ce qui permet l'écoulement d'un faible niveau d'eau pendant la prise. Les deux méthodes ne s'appliquent qu'aux collecteurs circulaires et peuvent être onéreuses.

Jointoiement : Réparation non structurale qui sert à réduire les infiltrations et les exfiltrations dans les collecteurs en briques ou en maçonnerie. Il faut évider les joints et les remplir de mortier frais à la main ou au moyen d'outils pneumatiques. Avant d'appliquer du nouveau mortier, il faut nettoyer la zone à réparer et retirer le mortier désagrégé.

Arrondissage : Méthode de stabilisation des conduites dont on se sert pour redonner à un collecteur déformé sa forme d'origine. Il est généralement suivi d'autres réparations ponctuelles, par exemple de travaux de revêtement. Un dispositif mécanique articulé est mis en place et déployé de manière à exercer une pression sur la conduite déformée et à lui redonner sa forme arrondie. Bien que cette méthode puisse être appliquée sur tous les matériaux, elle ne peut être employée que dans des conduites circulaires de 100 à 2800 mm de diamètre.

6.3.3 Revêtement

Le revêtement est la pose d'une gaine ou tube à l'intérieur d'un collecteur existant. Le revêtement peut être structural ou non et être installé en continu ou en segments. Il faut généralement nettoyer le collecteur avant de poser un revêtement. Lorsque le niveau des eaux souterraines est plus élevé que le sommet du collecteur, il ne faut pas utiliser de revêtements non structuraux. La pose de revêtements réduit légèrement l'aire transversale du collecteur.

De nombreux matériaux peuvent être utilisés pour le revêtement des gros collecteurs, notamment le CPV, le polyéthylène, le polybutylène, l'acier, le plastique renforcé à la fibre de verre (FRP), les résines thermodurcissables renforcées et le ciment.

Tube déformée /reformée) : Ces revêtements peuvent être utilisés pour des réparations structurales ou non. Une fois le collecteur asséché, on insère ou on tire à l'aide d'un treuil un tube dont la section transversale est maintenue en forme de U à l'aide de bandes de polypropylène. Une fois le tube en place, il retrouve sa forme originale au moyen d'eau sous pression. Le tube est composé de polyéthylène. À ce jour, cette méthode n'a pas été employée dans des collecteurs de plus de 1100 mm de diamètre.

Insertion continue : Méthode de réparation structurale utilisée (à ce jour) dans des collecteurs de 63 à 2500 mm de diamètre. Les segments de la nouvelle conduite (ou tube) sont assemblés par fusion avant d'être insérés. On utilise parfois des rouleaux pour soutenir la conduite pendant la pose et maintenir l'espace annulaire autour de la conduite pendant l'insertion. L'espace annulaire devra être comblé avec du mortier afin d'augmenter la résistance du collecteur. On ne peut utiliser ce type de revêtement dans les collecteurs qui présentent des coudes de faible rayon. Il faut dévier l'eau pendant la pose, et les fosses d'insertion doivent être suffisamment vastes pour que l'on puisse tirer et mettre la conduite en place sans trop la plier. Ces travaux peuvent être exécutés rapidement par des ouvriers qualifiés.

Revêtements intermédiaires : Type de réparation structurale. Ces revêtements intermédiaires sont posés à peu près de la même manière que l'insertion continue, mais ils ne sont pas continus et sont posés en segments, uniquement aux endroits qui doivent être réparés. On place d'abord un revêtement non structural dans le collecteur puis on le gonfle contre la paroi intérieure. Ensuite, on tire à l'aide d'un treuil ou on positionne les courts tronçons de tube à l'aide d'appareils

pneumatiques. Une fois les tubes de revêtement en place, on injecte du coulis dans l'espace annulaire qui sépare le revêtement non structural des tubes de revêtement.

Chemisage : Technique de réparation structurale qui permet de remettre en état des collecteurs d'au plus 2440 mm de diamètre. Le coût des travaux augmente en fonction du diamètre du collecteur, le coût moyen s'établissant à 1 200 $/m[10]. Le revêtement est formé d'une gaine en plastique rempli de résine fibreuse thermodurcissable qui, une fois durcie, améliore la résistance structurale et les caractéristiques hydrauliques du collecteur. On utilise la lumière ultraviolette, la vapeur ou de l'eau chaude pour le durcissem ent de la résine. Deux différents procédés d'installation sont utilisés pour le chemisage. La technique

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.

d'inversion consiste à serrer la gaine remplie de résine autour d'un outil d'inversion et d'inverser la gaine repliée à l'aide de vapeur sous pression, d'air ou d'eau. Si l'on se sert d'un treuil, on doit tirer la gaine repliée dans le collecteur puis gonfler celle-ci à l'aide d'air comprimé ou de vapeur. Dans les deux cas, il faut assécher et nettoyer le collecteur avant la pose.

Revêtement en ferrociment : Méthode de réparation structurale dans laquelle on utilise des armatures en acier et un matériau de recouvrement à base de ciment pour réparer des conduites en béton. Le Gunite[MD] est un mélange de ciment et de sable appliqué par pulvérisation. Une autre méthode consiste en la coulé du béton en place du béton qui est profilé sur place.

Les deux méthodes donnent une surface plus lisse et ont été utilisées avec succès dans des collecteurs de 1200 mm et plus. Cette technique a pour avantage de pouvoir être appliquée lorsque le niveau d'eau est assez bas, d'accommoder une variation du diamètre de la conduite existante et de faciliter la mise en place des branchements. Toutefois, il faut limiter les infiltrations pendant les réparations, les travaux en espace clos prennent du temps, les opérateurs doivent posséder des compétences de haut niveau , la réduction de l'aire transversale de la conduite peut être importante et le collecteur doit être nettoyé à fond avant les travaux.

Insertion segmentaire : Méthode de réparation structurale selon laquelle des segments préfabriqués sont transportés dans le collecteur et fixés en place. On remplit ensuite l'espace annulaire de coulis de ciment. Les segments peuvent être en ciment renforcé à la fibre de verre, en plastique renforcé à la fibre de verre, en béton renforcé au plastique, en béton ou en Gunite[MD] renforcé.

Il est recommandé de nettoyer le collecteur avant d'entreprendre ce type de réparations. On peut réaliser une insertion segmentaire dans les collecteurs circulaires et non circulaires, dans des conditions humides et en présence d'un bas niveau d'eau (pompage en dérivation non nécessaire). La pose et l'assemblage des segments nécessite une main-d'œuvre importante.

Conduite spiralée : Méthode de réhabilitation structurale des collecteurs. On passe une bande en plastique profilée dans une machine à assembler qui soude les bords. On introduit ensuite le conduite assemblée dans le collecteur par puits d'insertion. Dans la plupart des cas, la conduite spiralée peut être fabriqué de manière à ce qu'elle soit en contact étroit avec la surface interne du collecteur, et il n'est alors pas nécessaire d'utiliser du coulis.

Comme la conduite est fabriquée sur place, il est possible d'en adapter le diamètre à celui du collecteur. La conduite peut être posée d'un seul tenant, mais le travail doit être exécuté par du personnel spécialisé.

Panel Lok 111™ : Système de réparation structurale breveté utilisé dans les collecteurs de 900 mm de diamètre et plus. Le système améliore l'intégrité structurale du collecteur et freine la détérioration des matériaux. Comme on peut facilement faire passer les panneaux par les regards, il n'est pas nécessaire de construire des puits d'insertion. Les parties d'assemblage mâles (cordon co-extrudé) et femelles s'emboîtent pour former un joint étanche à l'eau. L'intérieur du revêtement est lisse et l'extérieur est nervuré, de sorte que le panneau est solidement maintenu en place une fois l'espace annulaire rempli de coulis.

Avant de mettre en place le système Panel Lok 111[MD], il faut assécher et nettoyer le collecteur. Ce système a l'avantage de réduire de très peu l'aire transversale, d'améliorer les caractéristiques hydrauliques et d'offrir une protection efficace contre la corrosion.

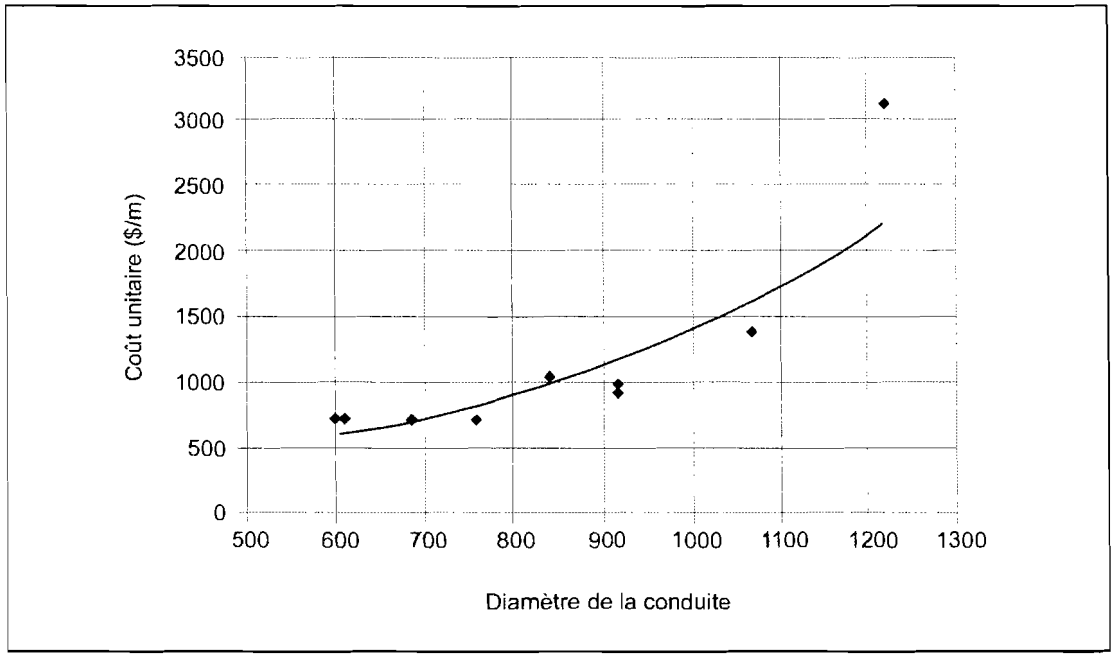


Figure 6.1 Coût des gaines durcies sur place en fonction du diamètre de conduite

Tableau 6.4 Coûts de réhabilitation (par rapport à la conduite poussée en tunnel)

Méthode	Diamètre 1050 mm	1200 mm	1500 mm	1800 mm
Insertion continue	0,45	-	-	-
Insertion segmentaire	0,74	-	-	-
Revêtement par assemblage (Panel Lok 111™)	0,58	0,61	0,67	0,73
Ferrociment	0,27	0,26	0,23	0,20
Chemisage	0,55	0,56	-	-
Conduite poussée en tunnel	1,00	1,00	1,00	1,00

*Rapports calculés en 1996.

6.3.4 Remplacement de la conduite

Fragmentation de conduites : Méthode de réparation structurale utilisée pour le remplacement direct des collecteurs. Par remplacement direct, on entend l'installation d'une nouvelle conduite à l'endroit exact où l'ancien collecteur a été enlevé. Le bouclier de fragmentation réduit le collecteur défectueux en fragments. Les débris sont évacués du tunnel par excavation pneumatique ou à l'aide d'une pompe à boues et peuvent être utilisés comme matériau de remblai dans d'autres projets de construction. Une conduite continue de remplacement fixée au bouclier est mise en place à mesure que le collecteur défectueux est broyé et évacué. Ce procédé ne s'applique actuellement qu'aux conduites de 900 mm ou moins, et n'a pas vraiment été employé pour les gros collecteurs. Bien que cette technique de remplacement nécessite la construction de fosses d'insertion, elle occasionne beaucoup moins de perturbations à la surface que les procédés de remplacement par excavation à ciel ouvert.

Éclatement des conduites : Autre méthode de remplacement direct. Il s'agit ici de fragmenter de l'intérieur le collecteur défectueux à l'aide

d'appareils pneumatiques ou hydrauliques et de mettre en place une nouvelle conduite. La nouvelle conduite peut avoir les mêmes dimensions que la conduite existante ou être plus grosse. Dans certains projets, l'augmentation du diamètre peut atteindre 150 %.

L'éclatement des conduites ne doit pas être utilisé lorsque d'autres services publics souterrains sont installés à moins de 300 mm du collecteur à remplacer et ne convient pas aux conduites qui présentent des coudes brusques. Ce procédé permet de remplacer les conduites sans occasionner trop de perturbations à la surface.

6.3.5 Excavation et remplacement des conduites

Il est parfois préférable de remplacer la totalité du collecteur en procédant à une excavation que de tenter de le remettre en état ou de le réparer de l'intérieur. L'excavation et le remplacement peuvent être la solution la plus économique. Il peut également être nécessaire de remplacer le collecteur par un ouvrage de plus grand diamètre. On procède généralement à une excavation à ciel ouvert lorsqu'il est possible de maintenir à un niveau acceptable les désagréments pour la population[20]. Plus la profondeur d'enfouissement du collecteur est importante, plus il est difficile de recourir à une excavation à ciel ouvert, et il peut alors être nécessaire de réexaminer les méthodes sans tranchée.

6.4 Coûts estimatifs des techniques de réhabilitation

Les coûts de réhabilitation des collecteurs sont très variables et dépendent des caractéristiques de chaque ouvrage. Les dimensions du collecteur et la méthode de réparation qui convient le mieux sont les principales variables qui influent sur les coûts. Par ailleurs, la profondeur d'enfouissement du collecteur a un effet considérable sur les coûts, parce qu'il est beaucoup plus difficile de transporter les matériaux, l'équipement et le personnel dans un égout profond. De plus, les coûts de réhabilitation évoluent avec les progrès technologiques et l'apparition de nouvelles méthodes.

Certaines données fournissent une indication des coûts de réhabilitation. Ainsi, le tableau 6.3 présente les coûts de différentes réhabilitations de collecteurs faites ces dernières années. La figure 6.1 indique le coût unitaire des gaines durcies sur place pour divers diamètres de conduite[11]. Cependant, compte tenu de l'extrême variabilité des coûts de réhabilitation, les municipalités devraient tenir une base de données à jour sur ces coûts afin d'avoir les outils nécessaires pour prendre des décisions éclairées.

Une autre indication sommaire des coûts de réhabilitation des gros collecteurs est présentée au tableau 6.4. La conduite poussée en tunnel, méthode utilisée pour installer une nouvelle conduite lorsqu'il est impossible de procéder à une excavation à ciel ouvert, sert ici de méthode de référence. Les estimations sont fondées sur l'information tirée de Trenchless Technology Database[54]. En général, les coûts tendent à augmenter en proportion du diamètre.

7. Évaluation et réhabilitation des regards

7.1 Système d'évaluation et de codage des regards

Le Système d'évaluation et de codage des regards (SÉCR) est expressément conçu pour les regards. Il est semblable au système d'évaluation et de codage des gros collecteurs, qui s'applique aux conduites. Le Système d'évaluation et de codage des regards peut être utilisé pour les regards de collecteurs de tous diamètres. Il offre une méthode systématique de notation, d'évaluation et de consignation de l'information sur l'état des regards, information dont on peut se servir pour prendre des décisions de gestion éclairées sur les travaux d'entretien, de réparation et de réhabilitation. Les regards sont généralement répartis uniformément le long du réseau collecteur d'eaux usées. Ils forment des points nodaux qui relient les collecteurs d'arrivée aux collecteurs de sortie et marquent les changements de direction et de déclivité des conduites. Les regards sont les seuls points d'accès aux fins d'inspection, d'entretien et de nettoyage ainsi que pour les réparations internes et les travaux de réhabilitation. Pour donner un rendement satisfaisant, ces ouvrages essentiels doivent être correctement évalués et entretenus.

7.1.1 Défauts des regards

Une vue en élévation de regards types est présentée à la figure 7.1. Pour consigner les défauts, il faut en donner la position horaire et en mesurer la distance par rapport au bâti du couvercle. La figure 7.2 montre les positions horaires recommandées pour les deux formes les plus courantes de puits d'accès. Pour un regard circulaire, la position 6 heures se trouve au centre de l'échelle supérieure. Les échelles et les paliers sont numérotés de haut en bas. Défauts structuraux courants observés à l'intérieur ou autour des regards :

- Cassures
- Zones de bris
- Fissures
- Déformation
- Effondrement
- Dommage superficiel
- Bâti endommagé
- Couvercle endommagé
- Tassement du sol en surface

Défauts fonctionnels courants (ou non-conformités aux règlements et lois sur la santé et la sécurité) :

- Racines
- Échelle non sécuritaire
- Palier non sécuritaire
- Défauts d'assemblage
- Infiltrations

Les détails suivants doivent être consignés lorsqu'on inspecte une échelle :

- Type (échelle ou échelons)
- Matériau
- Présence d'une main courante et profondeur du premier échelon
- État général, corrosion
- Disposition (emplacement relatif des échelles).

Les détails suivants doivent être consignés lorsqu'on inspecte des paliers (et des mains courantes) :

- Matériau
- Emplacement (mesuré à partir du couvercle)
- Dimensions et disposition générale
- État général, corrosion.

Pour toutes sortes de raisons, il arrive que l'accès au regard soit enterré. Dans ce cas, l'inspection et l'inventaire doivent comprendre des mesures de référence permettant de localiser les regards aux fins d'inspection, d'entretien et de réhabilitation.

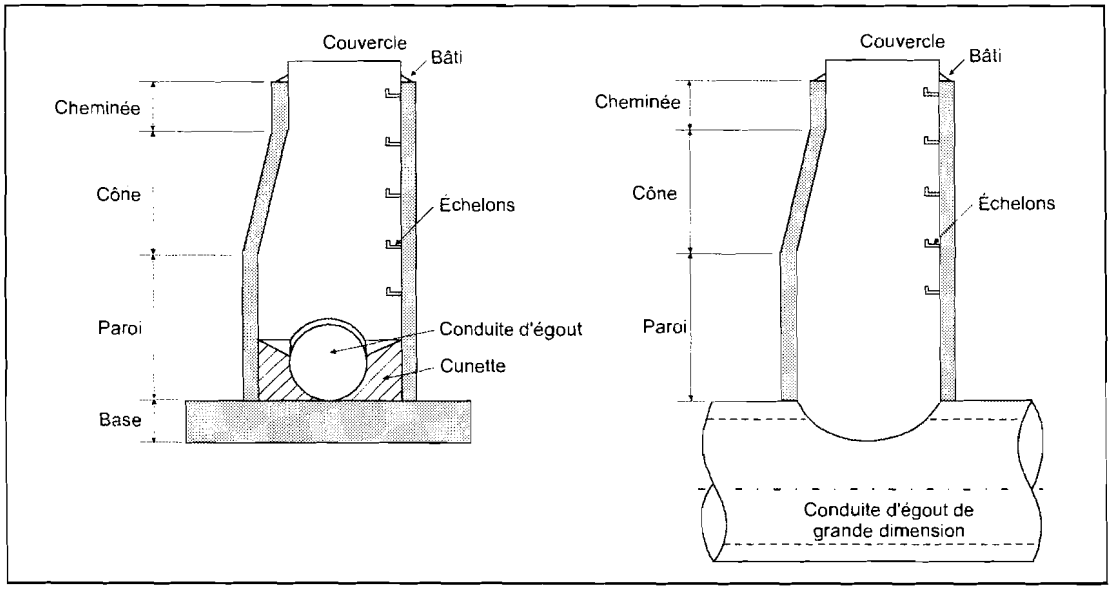


Figure 7.1 Vue en élévation de regards types

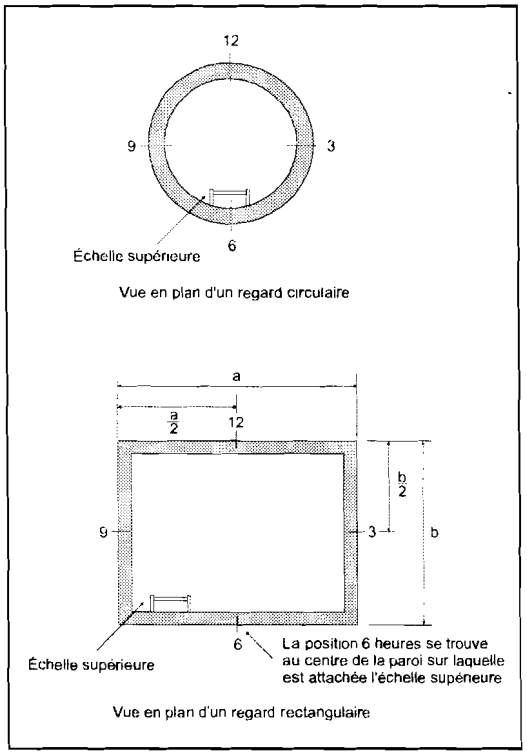


Figure 7.2 Système de positionnement horaire pour les regards

7.1.2 Codage de l'état physique

Le tableau 7.1 montre les défauts structuraux, les codes et les coefficients de pondération pour les regards. Le tableau 7.2 renferme l'information équivalente pour les défauts fonctionnels. Certains codes de défaut sont les mêmes que pour les conduites, mais d'autres s'appliquent uniquement aux regards. Comme pour les collecteurs, les défauts structuraux des regards sont assortis de coefficients de pondération de 0 à 20, et de 0 à 10, dans le cas des défauts fonctionnels.

Tableau 7.1 Défauts structuraux, codes et coefficients de pondération pour les regards

Type de défaut	Code	Unité de mesure	Coefficient de pondération
Cassure verticale (FV)			
- léger (< 3 cassures)	FVL	mètre	5
- modéré (3-5 cassures)	FVM	mètre	15
- sévère(> 5 cassures)	FVS	mètre	20
Cassure horizontale (FH)			
- léger (< 10 mm de largeur)	FHL	mètre	5
- modéré (10 à 25 mm)	FHM	mètre	15
- sévère (> 25 mm)	FHS	mètre	20
Zone de bris (B)			
(un trou > 100 mm de diamètre ou > 100 x 100 mm ou l'équivalent)	B	élément	20
Fissure verticale (CV)			
- léger (pas de fuites)	CVL	mètre	3
- modéré (fuites)	CVM	mètre	8
- sévère (fissures multiples, fuites)	CVS	mètre	12
Fissure horizontale (CH)			
- léger (pas de fuites)	CHL	mètre	3
- modéré (fuites)	CHM	mètre	8
- sévère (fissures multiples, fuites)	CHS	mètre	12
Déformation (D)			
- léger (< 7 % du diamètre intérieur)	DL	élément	8
- modéré (7 à 25 %)	DM	élément	12
- sévère (> 25 %)	DS	élément	18
Effondrement (X)	X	élément	20
Dommage superficiel (H)			
- léger (réduction de l'épaisseur de à paroi < 5 mm, revêtement délaminé)	HL	élément	3
- modéré (réduction de l'épaisseur de la paroi de 5 à 10 mm, armature ou granulats dénudés)	HM	élément	12
- sévère (réduction de l'épaisseur de la paroi > 10 mm, armatures corrodées)	HS	élément	18
Bâti endommagé (AD)			
- léger (légère corrosion, ancrages rouillés)	ADL	élément	4
- modéré (corrosion importante, ancrages lâches)	ADM	élément	12
- sévère (bris ou déplacement)	ADS	élément	18
Couvercle endommagé (CD)			
- léger (corrosion importante, ajustement médiocre)	CDL	élément	8
- modéré (corrosion importante, fissure)	CDM	élément	16
- sévère (bris)	CDS	élément	20
Tassement du sol en surface (GS)			
- léger (légère fissuration superficielle du revêtement)	GSL		5
- modéré (fissuration importante du revêtement, grosses bosses)	GSM		10
- sévère (revêtement écaillé, trous)	GSS		18

7.1.3 Cotes d'état structural et fonctionnel

On peut calculer les notes maximales, globale et moyenne pour les regards à l'aide des équations 5.4 à 5.6, chaque regard correspondant à une unité. Les tableaux 7.3 et 7.4 établissent une correspondance entre les notes obtenues et la cote d'état des regards.

7.2 Réhabilitation des regards à partir de la cote d'état structural

Le tableau 7.5 indique les niveaux de priorité des travaux de réhabilitation pour une cote donnée d'état structural et une cote donnée d'incidence de rupture. L'urgence des travaux est déterminée par la probabilité de rupture et les incidences de cette rupture.

Tableau 7.2 Codes d'état fonctionnel et coefficients de pondération pour les regards

Type de défaut	Code	Unité de mesure	Coefficient de pondération
Racines (R)			
- léger (racines fines)	RL	élément	0
- modéré (masses de racines)	RM	élément	2
- sévère (racines massives)	RS	élément	5
Échelle non sécuritaire (LU)			
- léger (légère corrosion, légèrement courbée)	LUL	élément	2
- modéré (corrosion importante, barres ou échelons déformés, ancrage lâche mais encore en place)	LUM	élément	5
- sévère (ancrages, barres ou échelons délogés ou manquants, réduction de l'aire transversale > 50 %)	LUS	élément	10
Palier non sécuritaire (DU)			
- léger (légère corrosion, légèrement courbé)	DUL	élément	2
- modéré (corrosion importante, barres ou échelons déformés, ancrage lâche mais encore en place)	DUM	élément	5
- sévère (ancrages, barres ou échelons délogés ou manquants, réduction de l'aire transversale > 50 %)	DUS	élément	10
Défauts d'assemblage (CF)			
- léger (jeux < 10 mm de largeur, signes d'infiltration)	CFL	élément	2
- modéré (jeux de 10 à 25 mm de largeur, fuites, colonne descendante fissurée)	CFM	élément	5
- sévère (colonne descendante cassée, jeux > 25 mm)	CFS	élément	10
Infiltrations (I)			
- léger (suintement, écoulement goutte à goutte)	IL	élément	2
- modéré (ruissellement)	IM	élément	5
- sévère (jaillissement)	IS	élément	10

Tableau 7.3 Cote d'état structural des regards

Plage de notes	Cote d'état, structural R_{str}
0 - 4	1
5 - 9	2
10 - 14	3
15 - 19	4
20	5

Tableau 7.4 Cote d'état fonctionnel des regards

Plage de notes	Cote d'état fonctionnel, R_{fer}
0 - 2	1
3 - 4	2
5 - 6	3
7 - 8	4
9 - 10	5

Tableau 7.5 Cotes d'état structural, répercussion et mesures recommandées pour les regards

Cote d'état structural du regard (R_{str})	Répercussion	Cote d'incidence de rupture (R_{imp})	Niveau de priorité des travaux de réhabilitation
5	Niveau inacceptable de risque structural ou pour la sécurité	1 – 5	Priorité absolue
4	Niveau élevé de risque structural ou pour la sécurité	5 1 – 4	Priorité absolue Élevé
3	Niveau modéré de risque structural ou pour la sécurité	= 4 < 4	Modéré Faible
2	Faible risque structural ou pour la sécurité	1-5	Faible
0 or 1	Bon ou excellent état	1 – 5	Aucune intervention n'est nécessaire

Cette démarche, combinée à un bon jugement technique, constitue la base sur laquelle s'appuient les prises de décisions. Les mesures à prendre pour corriger les défauts fonctionnels ne s'inscrivent pas dans le cadre du présent document.

7.3 Méthodes de réhabilitation pour les regards

Après avoir inspecté et évalué tous les regards, on peut déterminer le niveau de priorité des travaux de réhabilitation. On peut ensuite établir un devis en se servant de la base de données sur les défauts pour définir les défauts à corriger et les méthodes qui devront être employées.

Principales méthodes de réhabilitation des regards :

- Béton projeté
- Injection de coulis
- Revêtement structural
- Revêtement non structural
- Remplacement complet
- Réparations ponctuelles (raccords, échelles, paliers, revêtement bitumineux, etc.)

Le tableau 7.6 montre les types de défaut des regards et les méthodes de réhabilitation appropriées. Lorsque plusieurs méthodes peuvent être employées, on peut procéder à une analyse des coûts pour arrêter son choix.

7.4 Autres facteurs

7.4.1 Dimensions des regards

La taille des regards constitue souvent une contrainte pour les travaux d'entretien, d'inspection et de réhabilitation. Il faut démanteler les gros équipements et les remonter à l'intérieur du collecteur. On peut réduire le temps de préparation en ménageant au moins un regard situé en un endroit stratégique et dont le diamètre correspond à celui du collecteur qu'il dessert. Il est recommandé de doter les nouveaux collecteurs de ce type d'ouvrage d'accès.

La plupart des couvercles des regards font actuellement 600 mm de diamètre, ce qui donne une ouverture plus étroite que celle des nouveaux couvercles normalisés de 750 mm adoptés par de nombreuses municipalités. Selon la nature des travaux de réhabilitation, il peut être nécessaire de doter les regards de ces nouveaux couvercles pour faciliter le passage du matériel et des matériaux.

Tableau 7.6 Défauts et méthodes de réhabilitation pour les regards

Défaut	Méthodes applicables de réhabilitation						
	Béton projeté	Injection de mortier	Injection chimique	Revêtement structural	Revêtement non structural	Remplacement complet	Réparations ponctuelles
Défaut structural							
Cassure verticale		•	•	•		•	
Cassure horizontale		•	•				
Bris		•	•				
Fissure	•	•	•		•		
Déformation						•	
Effondrement						•	
Dommage superficiel	•			•	•		
Bâti endommagé							•
Couvercle endommagé							•
Tassement du sol en surface							•
Défaut fonctionnel							
Racines		•	•				•
Échelle non sécuritaire							•
Palier non sécuritaire							•
Défaut d'assemblage		•	•				
Infiltrations		•	•				

7.4.2 Distance entre les regards

Généralement, les regards des collecteurs de grandes dimensions et profonds sont plus espacés que ceux des collecteurs plus modestes. Ces distances peuvent compliquer les travaux d'entretien, d'inspection et de réhabilitation. Ainsi, dans les inspections par caméra de télévision en circuit fermé, l'utilisation de câbles de longueur excessive nuit à la transmission de l'image. Les longs câbles de tirage utilisés pour déplacer l'équipement de réparation et d'inspection peuvent endommager la conduite ou le bâti du regard. Il devient par ailleurs difficile d'assurer la sécurité des personnes qui travaillent dans les collecteurs lorsque la distance entre les regards est importante. C'est pourquoi la distance entre les regards ne devrait pas dépasser 120 m.

8. Gestion des données

8.1 Introduction

La collecte et le stockage de données sur les défauts et l'état des conduites d'égout et des regards sont essentiels à la prise de décisions de gestion relativement aux réseaux d'égout. La première étape d'une méthode efficace de gestion des données consiste à compiler les données d'inventaire, d'inspection, d'entretien et de remise à neuf.

Pour évaluer le degré de détérioration d'un égout, on doit pouvoir en comparer l'état actuel à un état de référence. Une collecte de données cohérente est essentielle à une évaluation efficace de l'état des collecteurs. Une grande partie du processus décisionnel se fonde sur le degré de détérioration du réseau ou des conduites pendant une période donnée (intervalle entre les inspections) et le risque (probabilité de rupture) lié à une absence d'intervention jusqu'à la prochaine inspection. Les décisions sont prises en fonction des données recueillies et compilées à la suite des travaux d'inspection, de réparation et de réfection effectués antérieurement sur les tronçons d'égout visés.

Certaines municipalités conservent leurs données sur les égouts dans des documents et des dessins papier, tandis que d'autres les enregistrent dans une base de données informatisée. Dans la présente section, on examine une méthode de gestion de l'information et l'on propose une structure pour la base de données et ses diverses tables. (La structure de base de données proposée correspond à l'information minimale qui doit être enregistrée.) Plusieurs logiciels de gestion de base de données offerts sur le marché conviennent à la gestion des données sur les égouts.

8.2 Structure de la base de données

La base de données est constituée d'un ensemble de tables de données unies par des liens fonctionnels. Ce type de structure, appelé base de données relationnelle, est simple à exploiter avec la plupart des logiciels de gestion des données offerts dans le commerce. La figure 8.1 illustre la structure générale proposée de la base de données et la figure 8.2 montre les liens entre les diverses tables.

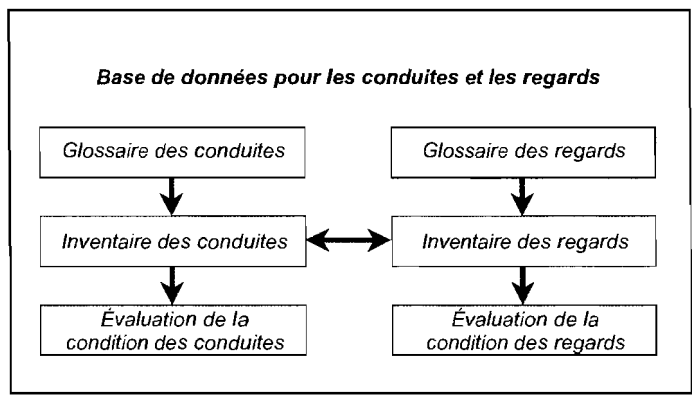


Figure 8.1. Structure de la base de données sur les conduites et les regards

La structure proposée permet le stockage efficace des données d'inventaire et historiques. Les écrans d'entrée des données peuvent contenir des listes déroulantes assurant une saisie des données facile et uniforme (figure 8.3). L'utilisation de listes déroulantes aux fins de l'introduction des données limite les types d'entrée et réduit les risques de fautes d'orthographe et le nombre de variantes.

Des modèles d'enregistrements de données d'inventaire sur les conduites et les regards sont présentés aux tableaux 8.1 et 8.2. Le tableau 8.3 fournit un exemple d'écran d'entrée de données d'inspection et d'évaluation d'état. Les types de défauts observés pendant les inspections et leur emplacement doivent être transcrits à partir de la bande ou du registre d'inspection.

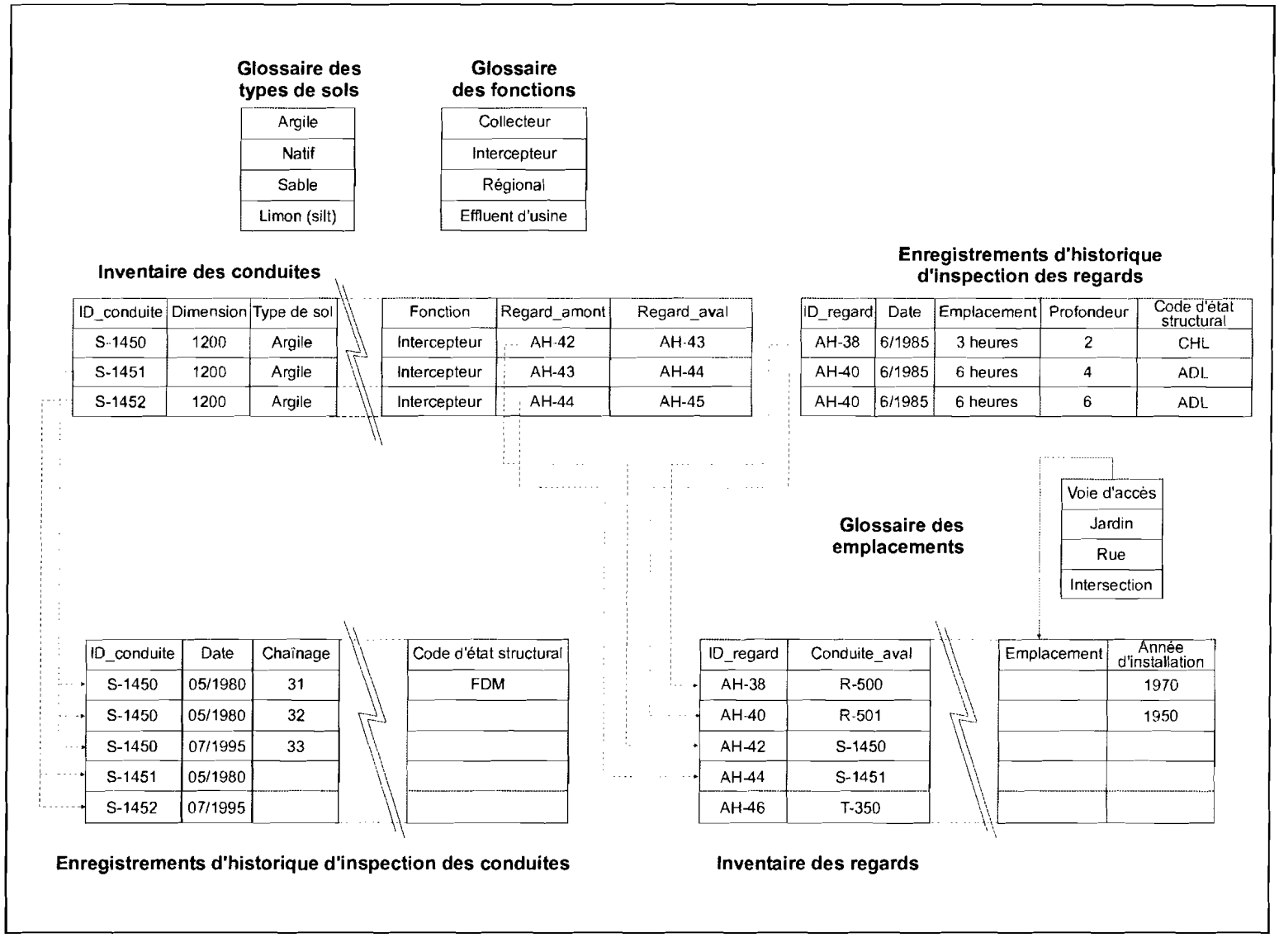


Figure 8.2 Liens entre les tables de données

Pour que les données introduites soient uniformes, les facteurs d'incidence et les codes de défaut (p. ex., FLS, X. JOM) doivent être attribués par une personne formée aux systèmes de pondération des défauts décrits dans ce guide. Les notes relatives aux défauts (notes maximales et globales), la note cumulative ainsi que les cotes d'état structural et fonctionnel peuvent être calculées par le logiciel de gestion de base de données selon les méthodes exposées dans ce guide.

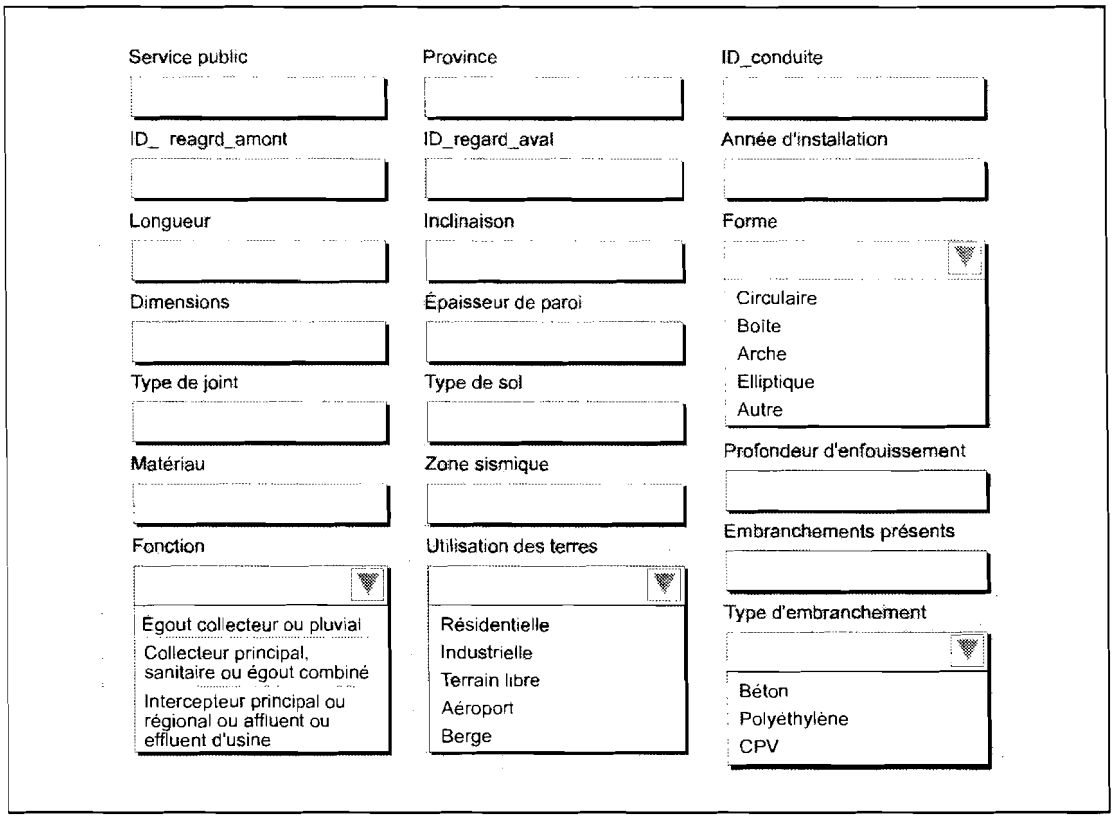


Figure 8.3 Exemple d'écran d'entrée de données à listes déroulantes

Tableau 8.1 Zones de saisie d'une table de données d'inventaire sur les conduites

Nom de zone	Exemple d'entrée
N° d'identification de la conduite	762CP
N° d'identification du regard en amont*	N12AH6
N° d'identification du regard en aval*	M12AH7
Année d'installation	1920
Matériau	Béton
Méthode de construction	Coulé sur place
Longueur	300 m
Inclinaison	0,5 %, 1,0 %, etc.
Forme	Circulaire, elliptique, arche, etc.
Dimensions	1200 mm
Type de joint	Embouts mâle et femelle
Type de sol	Argile, natif
Profondeur d'enfouissement (jusqu'au sommet de la conduite)	3 m
Fonction de l'égout	Intercepteur régional principal
Zone sismique	Cote fondée sur une ville ou une région
Niveau moyen des eaux souterraines au-dessus du radier de la conduite	500 mm, etc.
Type de revêtement intérieur	Mortier, asphalte, etc.
Branchements	Oui ou non
Type de branchements	Béton, CPV, etc.
Utilisation des terres	Industrielle

Note : * Lié aux données d'inventaire sur les regards

Tableau 8.2 Zones de saisie d'une table de données d'inventaire sur les regards

Nom de zone	Exemple d'entrée
N° d'identification de regard	AH-42
Année d'installation	1920
N° d'identification de conduite sortante*	S-1450
Nombre de conduites entrantes	1
Construction de la paroi	Préfabriquée, aucune, briques, blocs
Méthode de construction	Coulé sur place
Emplacement	Voie d'accès, trottoir, bordure, champ, terrain de golf, jardin
Type de bâti	Surélevé, dissimulé, joint d'étanchéité, boulonné, évent, égout pluvial[7]
Dimensions du bâti	1000 mm de diamètre
Construction de la cheminée	Préfabriquée, coulée, briques, blocs
Profondeur de la cheminée	1,0 m
Forme du cône	Concentrique, excentrique, sommet plat
Construction du cône	Préfabriqué, briques, blocs, coulé
Profondeur du cône	1,0 m
Dimensions	Diamètre x largeur
Bouche d'égout	Oui ou non
Joints d'étanchéité	Mortier, joints d'étanchéité, briques, blocs ou autre

Note : * Lié aux données d'inventaires sur les conduites

Tableau 8.3 Exemple de table de données sur les conduites : codes de défauts structuraux et fonctionnels et notes

ID_ conduite	Regard_ amont	Regard _aval	Date d'inspection	Chaînage (m)	Cote d'incidence	Codes de défauts structuraux				Note maximale	Note unitaire globale	Note cumulative	Cote d'état structural	Codes de défaut fonctionnel			Note maximale	Note unitaire globale	Note cumulative	Cote d'état fonctionnel	Remarques
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	N	...					...	P	...	...
S-1450	AH-42	AH-44	06/1980	31	1	FDM				10	10	N + 10	3	DEL			5	5	P+5	3	
S-1450	AH-42	AH-44	06/1980	32	1	FM	JOL			20	23	N + 33	5	DEL	EL		5	7	P+12	3	
S-1450	AH-42	AH-44	06/1980	33	1	FLL	PL			5	10	N + 43	2	DEM			8	8	P+20	4	
S-1450	AH-42	AH-44	06/1980	34	2	FCM	CLM	JOM		10	25	N + 68	3	DEM	IM		8	13	P+33	4	
S-1450	AH-42	AH-44	06/1980	35	2	HL	SL			4	7	N + 75	2	DEL			5	5	P+38	3	
S-1450	AH-42	AH-44	06/1980	36	2	HM	SL			10	14	N + 89	3						P+38	1	
S-1450	AH-42	AH-44	06/1980	37	2	HM	SL			10	14	N + 103	3	DEL			5	5	P+43	3	
S-1450	AH-42	AH-44	06/1980	38	3	JDL	FDL	DL	HL	5	16	N + 119	2	DEL	IL		5	7	P+50	3	
S-1450	AH-42	AH-44	06/1980	39	4	JDS				15	15	N + 134	4	IS			10	10	P+60	5	
S-1450	AH-42	AH-44	06/1980	39						0	0	N + 134	1								
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...								

Tableau 8.4 Exemple de table de données sur les regards : codes de défauts structuraux et fonctionnels et notes

ID_ regard	Date d'inspection	Cote d'incidence	Codes de défaut structural							Note maximale	Note unitaire globale	Cote d'état structural	Codes de défaut fonctionnel						Note maximale	Note unitaire globale	Cote d'état fonctionnel	Remarques
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							...	...		...
AH-42	06/1980	2	FVL	FHL	ADL	SDL	CVL	CHL		5	23	2	LUL	DUL	DAL	LL			2	8	2	
AH-44	06/1980	2	GSL	ADL	CDL	SDL				8	20	2	RL	CFL	IL				2	4	2	
AH-46	06/1980	1	SDL	ADL	CDL					8	15	2	LUL	DUL					2	4	2	
AH-48	06/1980	2	GSL	SDM	CVL	CHL				12	23	3	LUL						2	2	2	
AH-50	06/1980	2	CVM	CHM	SDM					12	28	3	RM	CFM	IM				5	12	3	
AH-52	06/1980	2	FHL	FVL						5	10	2	LUM	DUM					5	10	3	
AH-42	06/1995	2	FVM	FHM	AD M	SDL	CVM	CHL		15	56	4	LUL	DUL	IM				5	9	3	
AH-44	06/1995	2	GSL	AD M	CDM	SDL				16	31	4	CFL	IL	RM				2	6	2	
AH-46	06/1995	1	SDM	ADL	CDM					16	20	4	IS	CFS	RS	LUL	DUL		8	25	4	
...	...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...										

Il est à noter que chaque enregistrement de données d'inventaire et de données historiques contient une zone de texte permettant de décrire les situations spéciales qui ne sont pas prévues par le système de codification des défauts (p. ex., diamètres des conduites entrantes, problèmes d'odeurs ou désordre de surface).

Le tableau 8.4 renferme une table similaire de données sur les regards fondées sur les codes d'état structural et fonctionnel décrits à la section 7. Le logiciel employé peut être configuré pour permettre le calcul automatique des cotes d'état structural et fonctionnel des regards.

8.3 Accès aux données, mise à jour et maintenance

La structure de base de données proposée permet de stocker facilement et efficacement les données et d'y accéder à l'aide de fonctions d'interrogation et de rapport. On peut employer ces fonctions pour établir l'historique d'un bien précis afin d'en étudier la détérioration ou de prendre des décisions relatives aux travaux d'inspection et de réhabilitation.
Avant d'inspecter une conduite ou un regard, on peut interroger la base de données afin d'obtenir les rapports des inspections passées, qui contiennent des données sur l'emplacement et la gravité des défauts observés antérieurement. On peut alors donner une attention particulière à ces défauts et en évaluer la progression depuis la dernière inspection. Les tableaux 8.5 et 8.6 présentent des exemples de résultats d'interrogation sur des conduites et des regards affichant des cotes d'état structural et fonctionnel de 4 et de 5.

La base de données doit être mise à jour régulièrement. Les enregistrements périmés peuvent entraîner des décisions erronées et des dépenses inutiles.

Des rapports peuvent être produits pour faciliter l'affectation des ressources internes d'un service aux budgets annuels de réhabilitation ou à un plan d'amélioration des immobilisations. D'autres services publics et techniques comme ceux des eaux et de la voirie peuvent aussi utiliser leur propre système de codage d'état (p. ex., systèmes de gestion du pavage). Une fois la liste des projets de réhabilitation des égouts établie (p. ex., cotes 4 et 5), celle-ci peut servir à la coordination de ces travaux avec les projets d'autres services.

Tableau 8.5 Exemple de résultats d'interrogation sur des conduites affichant des cotes d'état de 4 et de 5

ID_conduite	Date d'inspection	Âge (années)	Chaînage (m)	Cote d'incidence de rupture	Cote d'état structural	Cote d'état fonctionnel	Remarques
S-1450	06/80	50	32	1	5	3	
S-1450	06/80	50	33	1	2	4	
S-1450	06/80	50	34	2	3	4	
S-1450	06/80	50	39	4	4	5	

Tableau 8.6 Exemple de résultats d'interrogation sur des regards affichant des cotes d'état de 4 et de 5

ID_conduite	Date d'inspection	Âge (années)	Chaînage (m)	Cote d'incidence de rupture	Cote d'état structural	Cote d'état fonctionnel	Remarques
AH-42	06/95	50	2	4	3		
AH-44	06/95	20	2	4	2		
AH-46	06/95	25	1	4	4		

Une autre mesure pourrait consister à loger la base de données sur un serveur commun permettant à plus d'un service d'y accéder, de l'interroger et de produire des rapports. Un système à lecture seulement pourrait être employé pour assurer la sécurité des tables de données.

La gestion des données sur les gros collecteurs présente en outre l'avantage à long terme de rendre possible l'échange de cette information entre municipalités et chercheurs. Ce partage est grandement facilité par les technologies de communication modernes. L'évolution des ressources matérielles et logicielles permettra l'élaboration de meilleurs outils de gestion des données. Il importe en outre d'assurer la compatibilité des nouvelles versions des logiciels de gestion de base de données avec les versions antérieures pour ne pas perdre l'accès aux données historiques compilées.

9. Résumé et conclusions

Les égouts sont des biens d'infrastructure importants et coûteux. Ce guide propose une méthode systématique pour l'élaboration et l'exploitation d'une base de données exhaustive destinée à faciliter la prise de décisions de gestion éclairées en matière d'inspection et de réhabilitation.

Ce guide a été élaboré en consultation avec les gestionnaires des égouts de grandes municipalités de l'ensemble du Canada et à la lumière d'une analyse documentaire approfondie sur les gros collecteurs.

Des méthodes applicables aux gros collecteurs et aux regards sont proposées pour les éléments suivants :

- Cotes d'incidence de rupture
- Calendrier et techniques d'inspection
- Identification et codage des défauts
- Coefficients de pondération pour chaque type de défaut
- Indices d'état structural et fonctionnel utilisés en combinaison avec les cotes d'incidence de rupture pour déterminer les priorités en matière de réhabilitation
- Description et estimation du coût de diverses options de réhabilitation
- Structure de base de données avec tables et listes déroulantes permettant le stockage uniforme et l'extraction aisée de l'information.

Les logiciels rendent le stockage et la récupération de l'information de plus en plus faciles. La constitution d'une base de données informatisée sur les gros collecteurs permettra à long terme d'économiser temps et argent en favorisant la prise de décisions réfléchies en matière d'inspection et de remise à neuf, en réduisant au minimum les interruptions de service et les inconvénients pour la population et en diminuant le risque de ruptures imprévues.

Références

1. Abraham, D.M. et Wirahadikusumah, R. 1999. Development of prediction models for sewer deterioration. *8th Durability of Building Materials and Components,* M.A. Lacasse et D.J. Vanier (eds.), Conseil national de recherches du Canada, p. 1257-1267.

2. Abraham, D.M., Iseley, T., Prasanth, R.K. et Wirahanikusumah, R.1997. Integrating sensing technologies for underground utility assessment. *Infrastructure Condition Assessment: Art, Science, and Practice*, Editor: M. Saito, American Society of Civil Engineers, p. 316-325.

3. Albert, D., Hoff, G.C., Lorence, B., Mitchell, G.B., Mlakar, P.F., Murphy, W.L. et Strohm, W.E. Jr. 1981. *15 Mile Road/Edison Corridor Sewer Tunnel Failure Study Detroit Area, Michigan. Technical Report GL-81-2.* U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station and U.S. Army Engineer District, Détroit.

4. R.V. Anderson. 1994. Cave Creek Sewer Rehabilitation Needs Assessment. Submitted to the Regional Municipality of Ottawa-Carleton. R.V. Anderson Associates Limited.

5. APIO. 1997. CCTV Operator Training Course Notes (WRc Standard), Association of Pipeline Inspectors of Ontario, Waterloo, ON.

6. ASCE. 1994. *Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation*, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 62. American Society of Civil Engineers.

7. ASCE. 1997. Manhole Inspection and Rehabilitation. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 92. American Society of Civil Engineers.

8. ASCE Task Committee on Flow Characteristics of Pipeline Infrastructure.1996. Determining rehabilitated sewer flow capacity. *J. of Transportation Engineering,* 122(3):258-261.

9. Bourke, K. et Davies, H. 1999. Estimating service lives using the factor method for use in whole life costing. *8th Durability of Building Materials and Components,* M.A. Lacasse et D.J. Vanier (eds.), Conseil national de recherches du Canada, p. 1518-1526.

10. Brown et Caldwell. 1998. *Unlined Concrete Sewer Assessment Condition Assessment Manual,* Submitted to the City of Phoenix. (avec autorisation).

11. Brown et Caldwell. 1999. *Unlined Concrete Sewer Assessment, Draft Task Memorandum 1 /2,* Submitted to the City of Phoenix. (avec autorisation).

12. CERF. 1992. *Current State of Life Cycle Design for Local Protection Structures: A Literature Search.* Civil Engineering Research Foundation. Rapport CERF No. A1003.004.

13. CH2M Gore & Storrie Limited.1999. Western Sanitary Interceptor Rehabilitation Strategy. Prepared for the Regional Municipality of Hamilton-Wentworth.

14. CSA A23.1-1994. *Concrete Materials and Methods of Concrete Construction.* Canadian Standard Association.

15. City of Edmonton. 1996b. *Standard Sewer Condition Rating System Report,* City of Edmonton Transportation Department.

16. Entech Engineering Inc. 1983. Sewage Leak Detection: A Novel Method to Detect Underground Sewer Defects (internal document), with permission.

17. EPA. 1999. Technical Approaches to Characterizing and Cleaning Up Automotive Repair Sites Under the Brownfields Initiative. United States Environmental Protection Agency.

18. Flourentzou, F., Brandt, E. et Wetzel, C.1999. MEDIC – a method for predicting residual service life and refurbishment investment budgets. *8th Durability of Building Materials and Components,* M.A. Lacasse et D.J. Vanier (eds.), Conseil national de recherches du Canada, p. 1280-1288.

19. Galeziewski, T.M., Edmondson, S.A. et Webb, R. 1995. Condition assessment and rehabilitation program for large diameter sanitary sewers in Phoenix, Arizona. *Advances in Underground Pipeline Engineering.* J.K. Jeyapalan t M. Jeyapalan (eds.), the American Society of Civil Engineers, p.560-571.

20. Gauthier, P. 1999. Communications privées.

21. Giffels Associates Ltd. 1992. Analysis of Inspection Methods for Large Diameter Collectors and Interceptors Sewers, submitted to the Regional Municipality of Ottawa-Carleton.

22. Hodgson, J. 1997. Présentation au forum Trunk Sewer, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada.

23. Iseley, T. 1999. Development of a new sewer scanning technology. *No Dig International*, 10(5):20-22.

24. ISO/CD 15686-1.1997. Buildings: Service Life Planning, Part 1 - General Principles. ISO/TC59/SC3.

25. ISO/CD 15686-2.1998. Buildings: Service Life Planning, Part 2 – Service Life Prediction Principles. ISO/TC59/SC14.

26. Kaempfer, W. et Berndt, M. 1999. Estimation of service life of concrete pipes in sewer networks. *8th Durability of Building Materials and Components,* M.A. Lacasse et D.J. Vanier (eds.), Conseil national de recherches du Canada, p. 36-45.

27. Kleiner, Y. 2000. Decision Support Framework for Rehabilitation and Scheduling Inspection of Large Sewers (ébauche), Rapport client du CNRC B-5109.1, Conseil national de recherches du Canada.

28. Lecompte Engineering Ltd. 1994. Sewer Access Shaft Rehabilitation & Upgrade (ébauche), soumis à la Municipalité régionale de Ottawa-Carleton.

29. Lounis, Z., Vanier, D., Lacasse, M. et Kyle, B.1998. Effective decision-making tools for roofing maintenance management. *Proc. 1st International Conf. on New Innovative Techniques for Decision Making in Civil Engineering*, Montréal, Canada, oct. 10-13.

30. Macaitis, W.A. et Paintal, A. 1994. Interceptor Inspection and Rehabilitation Program. *Urban Drainage Rehabilitation Programs and Techniques*, American Society of Civil Engineers.

31. MacPhee, J. et Noriega, N.C. 1983. *Sewer Deterioration Studies Collapse Investigation – Report on Findings.* WRc Engineering, R.-U..

32. Mailvaganam, N. P. 1992. *Repair and Protection of Concrete Structures.* CRC Press, Boca Raton, Floride, É.U..

33. Makar, J.M. 1999. Diagnostic techniques for sewer systems. *J. of Infrastructure Systems*, 5(2):69-78.

34. Macartis, W.A. et Paintal, A. 1994. Interceptor inspection and rehabilitation program. *Urban Drainage Rehabilitation Programs and Techniques,* Editors: W.A Macartis, p. 124-142.

35. Maze, R. 1999, communications privées.

36. McAlpine, G. 1994. The Danby Pipe Renovation System, *Urban Drainage Rehabilitation Programs and Techniques*, American Society of Civil Engineers.

37. McGregor, J.D. 1995. The value of internal manhole inspections. *Advances in Underground Pipeline Engineering.* J.K. Jeyapalan et M. Jeyapalan (eds.), the American Society of Civil Engineers., p.589-602.

38. Moselhi, O. et Shehab-Eldeen, T. 1998. Automated detection of surface defects in water and sewer pipes. Automation in Construction, 8:581-588. Elsevier Science B.V.

39. Moser, K. 1999. Towards the practical evaluation of service life - illustrative application of the probabilistic approach. *8th Durability of Building Materials and Components,* M.A. Lacasse and D.J. Vanier (eds.), Conseil national de recherches du Canada, p. 1319-1320.

40. Nankivil, M. et Nichols, D.J. 1997. Extending life and adding control – the rehabilitation of a 70 year old water transmission main. *Proc. of the Conference on Trenchless Pipeline Projects: Practical Applications.* Boston, Massachusetts, 8-11 juin.

41. NASSCO. 1995. *Manual of Practice - Wastewater Collection Systems.* The National Association of Sewer Service Companies, Orlando, U.S.A.

42. NBCC. 1994. *Le Code national du bâtiment - Canada,* Conseil national de recherches du Canada.

43. NCHRP. 1978. *Durability of Drainage Pipe.* National Cooperative Highway Research Program, National Research Council (U.S.).

44. O'Reilly, M.P., Rosbrook, R.B., Cox, G.C. et McCloskey, A. 1989. Analysis of Defects in 180 km of Pipe Sewers in Southern Water Authority. Research Report 172. Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport, R.-U..

45. Price, T. 1995. Inspecting buried plastic pipe using a rotating sonic caliper. *Advances in Underground Pipeline Engineering.* J.K. Jeyapalan and M. Jeyapalan (eds.), the American Society of Civil Engineers., p.126-137.

46. Ring, G.W. 1984. Culvert durability: Where are we?. *Transportation Research Record 1001.*

47. SAGEP – Service MAC. 1998. *Definition and Performance of the MAC Procedure, Mechanical Auscultation of Conduits.* SAGEP – Service MAC. Montigny sur Loing, France.

48. Samokhin, V.N. 1986. *Design Handbook of Wastewater Systems.* Allerton Press, Inc., New York.

49. Schrock, J. 1994. Planning, Assessing and Implementing Diagnostic Rehabilitation Options, *Urban Drainage Rehabilitation Programs and Techniques*, American Society of Civil Engineers.

50. Serpente, R.F. 1994. Understanding the Modes of Failure for Sewers. *Urban Drainage Rehabilitation Programs and Techniques*, American Society of Civil Engineers.

51. WRc. 1981. *Sewer Renovation, Technical Report TR 87A*. Water Research Centre, R.-U..

52. WRc.1994. *Sewerage Rehabilitation Manual*. Third Edition. Water Research Centre, R.-U..

53. WRc. 1993. *Manual of Sewer Condition Classification*. Third Edition. Water Research Centre, R.-U..

54. WRc and ISTT. 1996. Trenchless Technology Database CD-Rom, Water Research Centre and the International Society for Trenchless Technology, R.-U..

55. Zhao, J.Q. 1998. Trunk Sewers in Canada. *1998 APWA Int'l Public Works Congress Seminar Series*, American Public Works Association. Las Vegas, Sept. 14-17.

56. Zhao, J.Q., Kuraoka, S., Baker, T.H.W., Gu, P., Masson, J-F., Boudreau, S. et Brousseau, R. 1998. *Durability and Performance of Gravity Pipes: A State-of-the -Art Literature Review*, Conseil national de recherches du Canada.

Annexe A : Tables de conversion des codes de défaut

L'annexe A renferme deux tables (tables A1 et A2) de conversion des codes défaut employés dans les systèmes de la Ville d'Edmonton et du Water Research Centre (WRc) au Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs décrit dans les présentes lignes directrices. On peut créer des tables semblables pour convertir les codes employés dans d'autres systèmes de codage. On peut effectuer aisément les conversions à l'aide d'un programme de chiffrier électronique.

Tableau A1 Conversion du code d'état structural des systèmes employés par la Ville d'Edmonton et le WRc au Système d'évaluation et de codage des gros collecteurs

Type de défaut	Code du SÉCGC	Code équivalent Ville d'Edmonton	Code équivalent WRc
Cassure longitudinale (FL)			
- léger (< 10 mm de largeur)	FLL	FL	-
- modéré (10 à 25 mm de largeur ou 2 à 4 cassures)	FLM	FM	FL
- sévère (> 25 mm de largeur ou 5 cassures ou plus)	FLS	FS	-
Cassure circulaire (FC)			
- léger (< 10 mm de largeur)	FCL	-	
- modéré (10 à 25 mm de largeur ou 2 à 4 cassures)	FCM	-	FC
- sévère (> 25 mm de largeur ou 5 cassures ou plus)	FCS	-	-
Cassure diagonale (FD)			
- léger (< 10 mm de largeur)	FDL	-	-
- modéré (10 à 25 mm de largeur ou 2 à 4 cassures)	FDM	-	-
- sévère (> 25 mm de largeur ou 5cassures ou plus)	FDS	-	-
Cassures multiples (FM)	FM	-	FM
Fissure longitudinale (CL)			
- léger (au plus 3 fissures, pas de fuites)	CLL	CL	-
- modéré (> 3 fissures, fuites)	CLM	CM	CL
Fissure circulaire (CC)			
- léger (au plus 3 fissures, pas de fuites)	CCL	-	
- modéré (> 3 fissures, fuites)	CCM	-	CC
Fissure diagonale (CD)			
- léger (au plus 3 fissures, pas de fuites)	CDL	-	-
- modéré (> 3 fissures, fuites)	CDM	-	-
Fissure sévère			
- sévère (fissures multiples, fuites)	CS	CS	CM
Déformation (D)			
- léger (variation de diamètre < 5 %)	DL	DL	D (<5%)
- modéré (variation de diamètre de 5 à 10 %)	DM	DM	D (5% 10%)
- grave (variation de diamètre de 11 à 25 %)	DG	DS	D (10% - 25%)
Effondrement (X)			
- Le tronçon de conduite a perdu son intégrité structurale ou la déformation entraîne une variation de diamètre de plus de 25 %	X	DX	X
Bris de conduite (B)			
- (> 100 mm de diamètre ou superficie de 100 x 100 mm ou l'équivalent)	B	FX	B, H
Déplacement des joints (JD)			
- léger (< ¼ de l'épaisseur de la paroi)	JDL	JL	
- modéré (¼ - ½ de l'épaisseur de la paroi)	JDM	JM	JDM
- sévère (> ½ de l'épaisseur de la paroi)	JDS	JS	JDL
Ouverture des joints (JO)			
- léger (< 10 mm, garniture en place)	JOL	OL	-
- modéré (10 à 50 mm, ganiture délogée, fuites)	JOM	OM	OJM
- sévère (> 50 mm, sol visible, fuites)	JOS	OS	OJL
Dommage superficiel (H)			
- léger (réduction de l'épaisseur de la paroi <5 mm, usure ou écaillage légers, piqûre de la conduite métallique)	HL	HL	SSS, SWS
- modéré (réduction de l'épaisseur de la paroi de 5 à 10 mm, armature ou granulats dénudés, corrosion importante de la conduite métallique)	HM	HM	SSM, SWM
- sévère (réduction de l'épaisseur de la paroi >10 mm, corrosion de l'armature, trous de corrosion dans la conduite métallique)	HS	HS	SSL, SWL
Affaissement (S)			
- léger (< 50 mm)	SL	SL	-
- modéré (50 à 100 mm)	SM	SM	-
- sévère (>100 mm)	SS	SS	-

Tableau A2 Conversion des codes d'état fonctionnel des systèmes de la Ville d'Edmonton et du WRc au SÉCGC

Type de défaut	Code du SÉCGC	Code équivalent Ville d'Edmonton	Code équivalent WRc
Racines (R)			
- léger (racines fines, réduction du diamètre <10 %)	RL	RL	RF(J)
- modéré (réduction du diamètre de 10 à 25 %)	RM	RM	RT(J)
- sévère (réduction du diamètre > 25 %)	RS	RS	RM(J)
Débris (DE)			
- léger (réduction du diamètre < 10 %)	DEL	BL	DE (< 10%)
- modéré (réduction du diamètre de 10 à 25 %)	DEM	BM	DE (10% 25%)
- sévère (réduction du diamètre > 25 %)	DEs	BS	DE (> 25%)
Incrustation (E)			
- léger (réduction du diamètre < 10 %)	EL	EL	EL(J)
- modéré (réduction du diamètre de 10 à 25 %)	EM	EM	EM(J)
- sévère (réduction du diamètre > 25 %)	ES	ES	EH(J)
Raccordement pénétrant (P)			
- léger (réduction du diamètre < 10 %)	PL	PL	CNI (<10%)
- modéré (réduction du diamètre de 10 à 25 %)	PM	PM	CNI (10% 25%)
- sévère (réduction du diamètre > 25 %)	PS	PS	CNI (> 25%)
Infiltration (I)			
- léger (suintement, écoulement goutte à goutte)	IL	IL	IS(J), ID(J)
- modéré (ruissellement)	IM	IM	IR(J)
- sévère (jaillissement)			

Annexe B : Prédiction de l'état des égouts – méthodes quantitatives ou fondées sur le risque

B.1 Généralités

Le processus d'élaboration de méthodes de prédiction de la durée de vie restante des conduites d'égout est encore au stade de la recherche. La rupture des égouts en mauvais état (mais apparemment stable) peut être provoquée par des événements fortuits comme le bris d'une conduite d'eau potable ou des dommages causés par des travaux de construction menés sur un chantier adjacent – facteurs sans rapport avec le processus de détérioration des conduites d'égout. Cependant, l'évaluation de l'état des conduites d'égout en fonction de leurs états antérieurs peut fournir aux ingénieurs municipaux une information utile aux fins de la planification à court et à long terme des travaux d'entretien et de réhabilitation.

Dans la présente annexe, cinq méthodes d'estimation (ou de prédiction) de la durée de vie ou du degré de détérioration sont brièvement examinées. Certaines de ces méthodes ont produit de bons résultats dans l'évaluation d'éléments de bâtiment, tandis que d'autres ont été élaborées plus précisément pour les gros collecteurs. Ces méthodes sont les suivantes :

- MÉDIC (méthode d'évaluation de scénarios de dégradation probables d'investissements correspondants)
- Méthode factorielle ISO/CD
- Méthode d'analyse en chaînes de Markov
- Méthode de prédiction de la vitesse de corrosion des égouts en béton
- Démarche semi-markovienne d'établissement des calendriers de réhabilitation et d'inspection des gros collecteurs

B.2 MÉDIC

Nouvellement élaborée en Europe, la méthode d'évaluation de scénarios de dégradation probables d'investissements correspondants (MÉDIC) utilise un outil d'arpentage fondé sur un classement des états de dégradation des éléments (Flourentzou et al., 1999). La MÉDIC permet de calculer la probabilité du passage d'un élément d'un état à un autre à mesure qu'il vieillit. Cette prédiction repose sur une probabilité a priori fondée sur l'expérience acquise au cours de nombreuses études antérieures de même que sur l'état actuel de l'élément en question.

Quatre côtes d'état disjoints (*a, b, c* et *d*) servent à décrire le degré de détérioration des éléments du bâtiment. La cote « *a* » désigne un élément en bon état, la cote « *b* », un élément qui présente une détérioration mineure, la cote « *c* », un élément affichant une détérioration plus importante, et la cote « *d* », un élément qui doit être remplacé (Flourentzou et al., 1999). La base de connaissance de cette méthode se résume au moyen de quatre diagrammes de probabilité pour chaque élément, comme il est illustré à la figure B.1. Ces diagrammes indiquent la probabilité, à chaque moment de la durée de vie d'un élément donné, que l'état de cet élément corresponde à la catégorie *a, b, c* ou *d*. On peut également additionner ces quatre diagrammes de probabilité pour obtenir une courbe cumulative dans laquelle la somme des probabilités est toujours égale à l'unité.

Une fois qu'on a établi ces courbes de probabilité à l'aide des données des évaluations d'état antérieures, on peut s'en servir pour prédire le degré de détérioration d'un élément semblable exposé à des conditions ambiantes comparables. Pour un élément en usage depuis 60 ans, par exemple, la probabilité qu'il soit dans un état de catégorie *a* est de 0 %, celle qu'il soit dans un état de catégorie *b*, de 10 %, celle qu'il soit dans un état de catégorie *c*, de 30 %, et celle qu'il soit dans un état de catégorie *d*, de 60 %. Après 80 ans d'usage, il est probable à 99 % que le remplacement de l'élément soit nécessaire.

Flourentzou et al. (1999) ont fait la démonstration de l'utilisation de la MÉDIC aux fins de la prédiction de la durée de vie restante de revêtements extérieurs de bâtiments et de la planification de travaux de réfection. L'utilisation de la MÉDIC exige la mise en oeuvre préalable d'un système d'évaluation d'état, car des données sur la catégorie d'état sont nécessaires à l'établissement d'une courbe de probabilité pour chaque catégorie d'état.

Cette méthode constitue une option viable pouvant être appliquée à chaque matériau des conduites d'égout dans une zone géographique donnée. Compte tenu du système d'évaluation d'état décrit dans le présent guide, il convient d'utiliser les cotes (ou indices) d'état *0/1, 2, 3, 4* et *5*. On pourrait par exemple établir des courbes de probabilité pour les gros collecteurs en béton préfabriqué de la région d'Edmonton à l'aide des données utiles recueillies dans les évaluations d'état

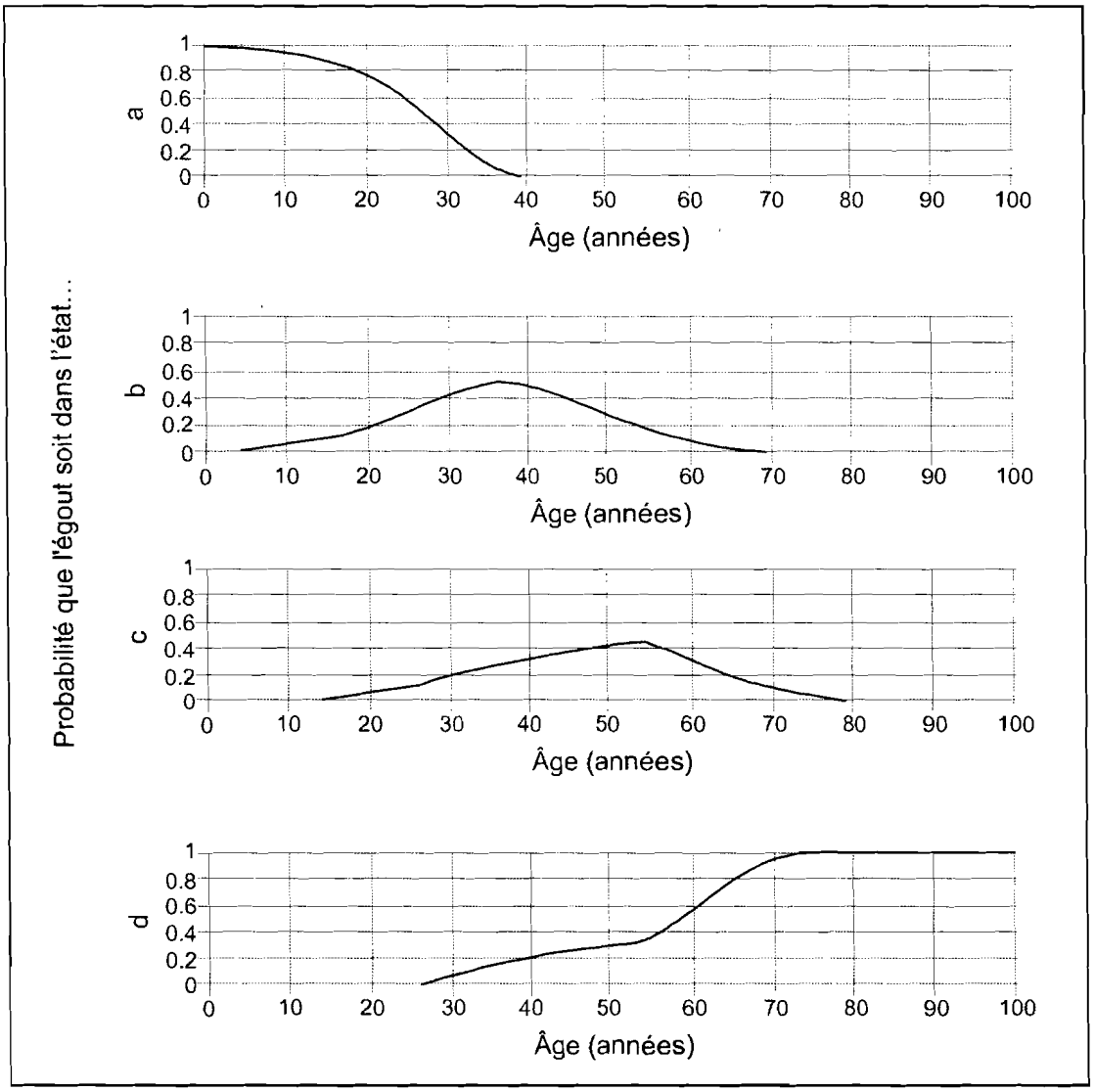


Figure B1 Diagrammes de probabilité pour la détérioration

antérieures. Ces courbes pourraient ensuite servir à l'évaluation d'égouts du même matériau et de la même région.

Les données d'inspection existantes peuvent être regroupées en fonction du type de matériau et de l'âge et servir à l'établissement de diagrammes de probabilités. Certaines municipalités pourraient disposer d'une quantité suffisante de données pour certains types de matériaux. Pour ce qui est de la cote d'état *5* correspondant à la fin de la durée de vie (et peut-être aussi de la cote *4*), on pourrait ne pas avoir recueilli suffisamment de données, trop peu d'égouts ayant atteint ce degré de détérioration. Après avoir établi les courbes de probabilité des cotes d'état *1*, *2*, *3* et *4*, on pourrait calculer celle de la cote *5*.

B.3 Méthode factorielle ISO/CD

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) a élaboré une méthode d'estimation de la durée de vie à des fins de calcul (ISO/CD 15696-1, 1997). Cette méthode, communément appelée méthode factorielle, consiste à multiplier une durée de vie de référence par un certain nombre de facteurs :

$$ESLC = RSLC \times A \times B \times C \times D1 \times D2 \times E \times F \quad [B.1]$$

Où :

ESLC est la durée de vie estimée d'un élément de bâtiment (en années)
RSLC est la durée de vie de référence de l'élément (en années)
A est le facteur de qualité
B est le facteur de niveau de calcul
C est le facteur de qualité de construction
D1 est le facteur de conditions ambiantes intérieures
D2 est le facteur de conditions ambiantes extérieures
E est le facteur d'état en service
F est le facteur de niveau d'entretien

La durée de vie de référence correspond à la période pendant laquelle on peut normalement s'attendre à ce que l'élément ou l'ensemble dure dans des conditions de service définies. Les facteurs modificatifs représentent les écarts par rapport à ces conditions (équation B.1) et

Tableau B1 Durées de vie théoriques suggérées (WRc, 1994. Fournies à titre indicatif seulement.)

Matériau et dimensions de la conduite	Durée de vie théorique (années)
Égouts neufs et ouvrages connexes en matériaux classiques non plastiques	
300 – 1000 mm	100
>1000 mm	125
Égouts neufs en CPV ou autres matériaux neufs, toutes dimensions	40
Systèmes de réhabilitation, revêtements, toutes dimensions	50
Systèmes de réhabilitation, stabilisation, toutes dimensions	20

Tableau B2 Durées de vie théoriques suggérées pour divers matériaux de conduites (NASSCO, 1995. Fournies à titre indicatif seulement.)

Matériau	Conception de la paroi	Plage de diamètres (mm)	Durée de vie (années)
Matériaux employés pour la réparation ou la réhabilitation des conduites			
Polyéthylène	Paroi pleine	100 – 1500	50
	Profilée	455 – 3050	50
Polybutylène	Paroi pleine	75 – 1065	50
PVC	Paroi pleine	100 – 915	50
	Profilée	530 – 1220	50
Revêtements en CPV	Profilée	150 – 3050	50
Fibre de verre	Plastique renforcé	460 – 2440	50
Fonte ductile	Paroi pleine	100 – 1525	75
Acier	Paroi pleine	100 – 3050	25
Acier inoxydable	Paroi pleine	100 – 3050	75
Chemisage	Composite	100 – 2750	50
Injection chimique	Acrylamide		20
	Acrylique		20
	Acrylate		20
	Uréthane		20
	Mousse d'uréthane		20
Béton armé			20
Béton			20
Insertion segmentaire	Polyéthylène		50
	CPV		50
	Acier		25
	Acier inoxydable		75
Matériaux employés pour le remplacement des conduites			
Béton armé avec revêtement intérieur en CPV		1065 – 6705	75
Argile vitrifiée		100 – 1065	75
Plastique		100 – 380	50

visent les matériaux, la conception, la qualité de l'exécution, les conditions ambiantes, les caractéristiques de fonctionnement et l'entretien. La méthode factorielle a été élaborée pour servir d'outil d'estimation de la durée de vie dans les cas où l'ensemble de données quantitatives appropriées ou fiables dont on dispose est insuffisant (Bourke et Davies, 1999). Son utilisation a été illustrée au moyen d'exemples (Bourke et Davies, 1999; Moser, 1999). Certains facteurs n'ont manifestement aucun rapport avec les égouts, ouvrages pour lesquels cette méthode reste à valider.
Pour utiliser la méthode factorielle, il faut connaître la durée de vie de référence de l'élément étudié, valeur qui n'a pas été établie à partir de données de terrain pour les gros collecteurs. Des données sur la durée de vie théorique provenant de deux sources différentes sont fournies (tableaux B.1 et B.2) pour divers matériaux constitutifs de conduites, mais rien ne garantit que les égouts ainsi caractérisés feront défaut au terme exact de leur durée de vie nominale. En fait, bon nombre d'égouts existants restent en bon état des années après la fin de leur durée de vie théorique.

B.4 Méthode d'analyse en chaînes de Markov

La méthode d'analyse en chaînes de Markov est une méthodologie de modélisation de la détérioration fondée sur les probabilités. Abraham et Wirahadikusumah (1999) ont élaboré un modèle markovien de détérioration des égouts dans lequel les processus stochastiques (*X1, X2, X3*, etc.) peuvent représenter l'ensemble des cotes d'état d'une conduite d'égout fondées sur des données d'inspection quinquennales. En tout temps t, l'état d'un tronçon d'égout peut être classé dans uniquement une d'un nombre fini de catégories disjointes et exhaustives ou indices. Les indices ou cotes d'état employés sont au nombre de cinq, la cote 1 représentant l'état optimal, et la cote 5, un état critique. Pour illustrer l'utilisation de cette méthode, Abraham et Wirahadikusumah (1999) fournissent l'exemple ci-dessous.

L'état prévu d'un égout au moment t = n se calcule comme suit :

$$E[X(t=n,P)]=[1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0][P^{(n)}][1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5]^T \quad \text{[B.2]}$$

où P représente la matrice de transition et prend la forme suivante :

$$P=\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{22} & p_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{33} & p_{34} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{44} & p_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{[B.3]}$$

Le terme « transition » désigne le passage d'un tronçon d'égout de l'état *i* à l'état *j* entre deux périodes consécutives. Les probabilités correspondantes (p_{ij}) sont donc nommées probabilités de transition.

Selon Abraham et Wirahadikusumah (1999), ce modèle de Markov constitue un moyen fiable d'élaborer des modèles prédictifs. Le processus markovien confère une structure rationnelle au modèle de détérioration parce qu'il tient compte de la nature aléatoire de ce phénomène et assure l'obtention d'un schéma de dégradation continue de l'état des égouts avec le temps lorsqu'on extrapole à partir des données recueillies. Dans l'exemple fourni, les prédictions obtenues à l'aide du modèle de Markov sont comparées à l'opinion de spécialistes. L'application de la méthode d'analyse par chaînes de Markov à des éléments de bâtiment comme les matériaux de toiture a produit de bons résultats (Lounis et al., 1998). L'utilisation de cette méthode aux fins de l'établissement d'un calendrier optimal d'inspection et d'évaluation de l'état des égouts est examinée à la section B.6

B.5 Prédiction de la vitesse de corrosion des égouts en béton

La corrosion du béton est causée par l'acide sulfurique présent dans les égouts ou produit dans les conditions ambiantes qui règnent à l'intérieur des ouvrages (Kaempfer et Berndt, 1999). La vitesse de corrosion varie en fonction

de la résistance et de la densité du béton, du degré de pénétration de l'acide, de sa concentration et de la circulation de sulfure d'hydrogène dans les égouts. La géométrie des conduites a aussi une incidence marquée sur la vitesse de corrosion (Kaempfer et Berndt, 1999). Pomeroy (1977) a élaboré l'équation de prévision de la vitesse de corrosion du béton suivante :

$$CR = 11.4\,k\,\Phi_{sw}\,\frac{1}{\alpha} \qquad [B.4]$$

Où :

CR est la vitesse de corrosion moyenne du béton sous l'effet de l'acide (mm/année),
k est le coefficient de réaction à l'acide, qui quantifie approximativement la fraction acide restante à laquelle la paroi est exposée,
= 0,8 lorsque S (hausse de la concentration de sulfure) £ 1,0
= 0,7 lorsque 1,0 < S £ 5,0
F_{sw} est le flux de sulfure d'hydrogène auquel est exposée la paroi de la conduite (g/m^2*h)
a est le coefficient d'alcalinité du béton, qui est normalement de 0,16
Kaempfer et Berndt (1999) présentent une autre équation théorique élaborée par Thistlethwayte (1972) :

$$CR = 19.9\times10^{6}\,\frac{K_{sa}P_{H_2S}A_{sa}}{z\rho A_{aw}} \qquad [B.5]$$

Où :

CR	est la vitesse de corrosion moyenne du béton sous l'effet de l'acide (mm/année)
K_{sa}	est la vitesse d'absorption du H_2S par la paroi de la conduite ($kg/m^2.h$)
P_{H2S}	est la pression partielle du H_2S (ppm)
A_{sa}	est le rapport de la largeur de la surface du courant d'eaux usées au périmètre exposé de la paroi de la conduite au-dessus du niveau d'eau (m/m)
z	est la teneur en ciment du béton (kg/m^3)
r	est la densité du béton (kg/m^3)
A_{aw}	est le périmètre exposé de la paroi de la conduite au-dessus du niveau d'eau (m/m)

On peut utiliser ces équations pour prédire la vitesse de corrosion moyenne et, selon l'épaisseur de la paroi de la conduite, le temps qu'il faudra pour que le degré d'endommagement dû à la corrosion devienne inacceptable. Ces équations ne s'appliquent toutefois qu'aux collecteurs en béton.

Des données sont nécessaires à la vérification de la validité de ces équations prédictives lorsqu'il faut tenir compte des conditions ambiantes qui règnent dans les égouts et de l'utilisation de ciment modifié.

La paroi extérieure des conduites en béton est exposée à une attaque chimique dans les milieux où la teneur en sulfates du sol et des eaux souterraines est élevée. Il faudra donc aussi élaborer des équations pour prédire la vitesse de corrosion de la paroi extérieure des égouts. Ce type d'outil prédictif s'appliquerait à toutes les conduites en béton, qu'il s'agisse ou non de conduites d'égout.

B.6 Démarche semi-markovienne d'établissement des calendriers de réhabilitation et d'inspection des gros collecteurs

Un cadre décisionnel a été élaboré à l'IRC (Kleiner, 2000) pour aider les ingénieurs municipaux à optimiser la programmation des travaux de réhabilitation, d'inspection et d'évaluation d'état des équipements souterrains en fonction des données disponibles et de l'opinion de spécialistes. Les principaux éléments de ce cadre sont les suivants :

- L'échelle de détérioration des égouts est divisée en indices d'état discrets.
- La détérioration en fonction du temps est modélisée selon un processus semi-markovien dans lequel on suppose que les égouts demeurent un certain temps (appelé temps d'attente) dans chaque état.

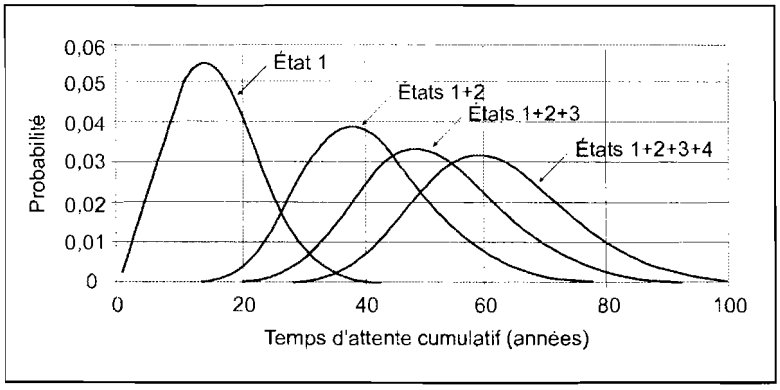
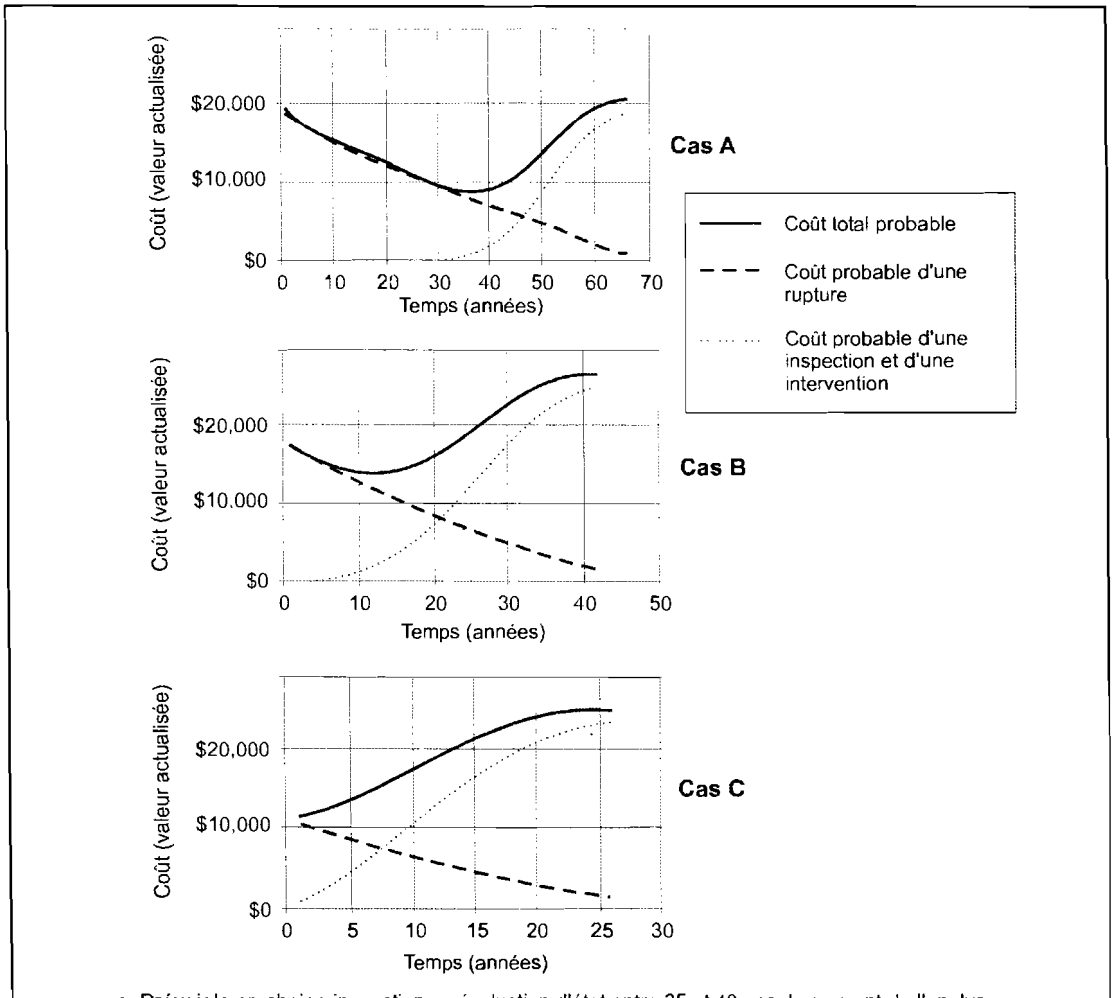


Figure B2 Exemple de distributions cumulatives de temps d'attente



a. Prévoir la prochaine inspection ou évaluation d'état entre 35 et 40 ans du moment de l'analyse.
b. Prévoir la prochaine inspection ou évaluation d'état entre 10 et 15 ans du moment de l'analyse.
c. Prévoir une réhabilitation/intervention immédiate.

Figure B3 Exemple de courbes des coûts

- On suppose que le temps d'attente dans chaque état est une variable aléatoire qui présente une distribution théorique connue. Cette distribution théorique est initialement déduite en fonction de l'avis de spécialistes puis continuellement mise à jour à l'aide des données d'observation du degré de détérioration recueillies. Cette mise à jour peut être effectuée au moyen d'un processus statistique comme la mise à jour bayesienne.

- La distribution du temps d'attente cumulatif dans différentes séries d'états, p. ex., 1+2, 1+2+3 et 1+2+3+4, est calculée selon la méthode de Monte-Carlo (figure B2).

- Des matrices de probabilités de transition liées à l'âge sont constituées à l'aide des probabilités conditionnelles de survie dans les divers états. Il s'agit là d'une amélioration par rapport à la méthode markovienne classique, qui se fonde sur des probabilités de transition stationnaires hypothétiques.

- Le coût actualisé total d'entretien de l'égout (y compris les coûts liés aux interventions, aux inspections et aux défaillances) est calculé en fonction du temps.

- La prochaine inspection ou évaluation d'état doit être fixée au moment où le coût actualisé total prévu est au plus bas (figures B3a et B3b).

- Une intervention immédiate doit être planifiée lorsque le moment du coût minimal se situe à l'intérieur d'une période seuil de 2 ou 3 ans (figure B3c).

Ce cadre a été mis en oeuvre à l'aide d'un programme informatique à des fins de validation de principe et de démonstration. D'autres travaux ont été entrepris en vue d'élaborer un outil pratique et général.

B.7 Résumé

Non seulement est-il difficile d'estimer la durée de vie restante d'un égout, mais il n'existe pas non plus de définition universellement reconnue de la durée de vie (Ring, 1984). Il est cependant possible de prédire l'état d'un égout en fonction d'indices établis à l'aide d'un ensemble cohérent de critères d'évaluation. Des trois méthodes examinées, deux peuvent servir à la prédiction de l'état des collecteurs et des regards : la MÉDIC et la méthode d'analyse en chaînes de Markov.

Dans le cas des égouts en béton, la vitesse de corrosion peut être établie au moyen des méthodes de Pomeroy ou de Thistlethwayte.

L'analyse a confirmé l'absence des données sur l'état des égouts nécessaires à la vérification de l'applicabilité de ces méthodes. La nature estimative de toute méthode élaborée pour prédire la durée de vie des égouts est évidente. À mesure que l'ensemble des données disponibles augmentera, les facteurs d'incertitude liés aux estimations obtenues à l'aide de ces méthodes diminueront, mais ils ne seront pas éliminés.

Canada