

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
À L'OBTENTION D'UNE MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION  
M.Eng.

PAR  
YVES DION

RESTRUCTURATION HYDRAULIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES  
RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT

MONTRÉAL, LE 9 MAI 2006

© droits réservés de Yves Dion

**CETTE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ  
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :**

**M. Saad Bennis, directeur de mémoire**

**Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure**

**M. Robert Hausler, président du jury**

**Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure**

**M. France Bernard, ingénieur principal, membre du jury**

**Arrondissement de Verdun, Ville de Montréal**

**IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC**

**LE 28 AVRIL 2006**

**À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE**

# **RESTRUCTURATION HYDRAULIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT**

Yves Dion

## **SOMMAIRE**

Lors de pluies abondantes, le citoyen qui vit dans les agglomérations urbaines se voit menacé d'inondations qui peuvent provenir aussi bien des insuffisances dans les réseaux d'assainissement que des débordements des cours d'eau. L'augmentation subite de ces débits d'eau excède les capacités de drainage et des stations d'épuration et provoque le déversement des surplus bruts d'eaux pluviales mélangées avec des eaux usées sur les propriétés privées ainsi que dans les cours d'eau. L'objectif principal de ce projet de recherche consiste à identifier et apporter des solutions aux diverses problématiques reliées à la présence dans ces villes d'anciens réseaux d'assainissements conçus selon le principe du tout à l'égout. Ces réseaux ne sont plus en mesure en temps de pluie de desservir les populations sans les inonder et déverser des polluants dans l'environnement. Ce mémoire traite des différentes notions de base associées aux réseaux d'assainissement. On y présente les différents types de réseaux, leurs caractéristiques, leurs fonctions, ainsi que les différents facteurs qui sont associés à leur gestion, entretien et mise à niveau. La problématique des réseaux d'assainissements et des déversements en temps de pluie y est abordée. Divers impacts comme les inondations, la baisse de rendement épuratoire, l'augmentation des coûts de pompage et de traitement sont aussi traités. Puis une revue de la littérature scientifique situe ce travail en rapport avec ce qui se fait ailleurs dans ce domaine, à l'intérieur du cadre plus large de la gestion intégrée des infrastructures urbaines et des interventions qui visent la réhabilitation hydraulique et environnementale. Elle permet aussi d'exposer l'état des connaissances actuelles dans les domaines des pratiques de gestion optimale de la ressource eau BMP (Best Management Practices), de la gestion en temps réel RTC (Real Time Control) et celui émergent de l'urbistique. Les outils, les paramètres et les modèles nécessaires à l'analyse sont présentés. Les différents aspects, liés à l'utilisation d'équipements de monitoring pour effectuer la gestion en temps réel des débordements d'eaux usées par les réseaux d'assainissement se basant sur des mesures continues de la qualité des eaux, y sont aussi soulignés. Le projet réalisé est celui de la réhabilitation des réseaux d'assainissement desservant le quartier centre-ville de l'arrondissement Verdun à Montréal. Pour éviter des inondations et des débordements, une nouvelle approche de restructuration du réseau d'assainissement a été conçue dans le cadre de cette étude. Ces correctifs ont consisté à mettre en place; des bassins de rétention, un ponceau de sub-surface, un nouvel ouvrage de régulation assisté par l'utilisation de nouvelles technologies de gestion, d'opération et de suivi en temps réel de la qualité des eaux.

## **HYDRAULIC AND ENVIRONMENTAL RESTRUCTURATION OF SEWER NETWORKS**

Yves Dion

### **ABSTRACT**

In rainy times, citizen living in urbanized area are often threatened by floods originating from insufficiencies in wastewater networks, as from water courses. Also increase in discharges can exceed capacity of wastewater treatment plant and can generate spillage in water ways of pluvial worn waters. In doing so, generating lost of water ways usages. The principal objective of this research consists in identifying solutions to problems related to old wastewater networks conceived according to the "whole to sewer" concept. When it rains, those networks are not able to serve their purpose without being likely neither to flood populations nor to pour pollutants in the environment. This work addresses various basic concepts associated with wastewater networks. Various types of networks, their characteristics, their functions, as well as various factors which are associated with their management, maintenance and levelling are presented. Problems related to networks response to discharges increase are described and analysed. Various impacts; in particular floods, reduction in treatment capacity, increase in costs of pumping and treatment are also mentioned. A scientific literature review is then presented to compare this work to what is done elsewhere in that field. This review is done within the broader framework of integrated management of urban infrastructures, hydraulic and environmental rehabilitation. It presents state of the art and current knowledge in fields of Best Management Practices (BMP), Real Time Control (RTC) and emergent field of urbistic. Tools, parameters and models used for analysis are presented. Various aspects related to the use of monitoring equipment to carry out real time management of combined sewer overflows (CSO) and continuous measurements of water quality are also presented. That project relates to a wastewater networks rehabilitation project located in the downtown district of Verdun, a borough in Montreal. There in order to avoid floods and overflows an approach of network reorganization was proposed within the framework of this study. Corrective measures proposed: retaining tanks, sub-surface network and regulation structures assisted by the use of new technologies for management and operation in real time water quality control. They prove to be effective methods for hydraulic and environmental rehabilitation. By reducing flooding, frequency and concentration of pollutants in wastewater discharge in the Saint-Laurence River and by maximizing interception of first flush, that network reorganization can be considered as been a credible alternative to classical approach that consists in reconstructing of an outdated network.

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux et celles qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire, je cite en particulier le professeur Saad Bennis, mon directeur de maîtrise, pour son soutien, la pertinence de ses critiques et sa disponibilité tout au long de cette étude. La confiance qu'il m'a témoignée ainsi que ses bons conseils me furent d'un précieux secours.

Je remercie monsieur France Bernard, ingénieur principal de l'arrondissement Verdun de la ville Montréal pour avoir mis à ma disposition toutes les données nécessaires à la réalisation de cette étude et sans qui je n'aurais pas eu l'occasion de travailler sur un projet aussi exceptionnel.

Enfin, j'aimerais exprimer ma très profonde reconnaissance à mon épouse Lina pour son support moral et sa grande patience; c'est d'ailleurs à elle que je dédie ce mémoire.

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
SOMMAIRE .....	i
ABSTRACT .....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
LISTE DES TABLEAUX .....	vi
LISTE DES FIGURES .....	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES.....	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 CARACTÉRISTIQUES DES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT .....	6
1.1 Introduction .....	6
1.2 Caractéristiques générales .....	6
1.2.1 Typologie des réseaux d'assainissement.....	6
1.2.2 Conception des réseaux d'assainissement.....	9
1.2.3 Gestion de l'entretien des réseaux d'assainissement.....	12
CHAPITRE 2 PROBLÉMATIQUE ET ÉTAT DE LA CONNAISSANCE .....	19
2.1 Problématiques .....	19
2.1.1 Problématique générale des réseaux d'assainissement .....	19
2.1.2 La défaillance structurale des réseaux d'assainissement .....	20
2.1.3 La défaillance hydraulique .....	21
2.1.4 La défaillance environnementale.....	23
2.1.5 Le rendement épuratoire.....	24
2.1.6 Le coût de pompage et de traitement.....	25
2.2 État de la connaissance.....	26
2.2.1 Correction des défaillances hydraulique et environnementale .....	27
2.2.2 Réhabilitation hydraulique des réseaux d'assainissement .....	29
2.2.3 Réhabilitation environnementale des réseaux d'assainissement.....	31
2.2.4 Pratiques de gestion optimale des réseaux d'assainissement.....	36
2.2.5 Gestion en temps réel des réseaux d'assainissement .....	41
2.2.6 Urbistique et réseaux d'assainissements .....	48
2.2.7 Monitoring des réseaux .....	56
2.2.8 Réhabilitation, reconstruction ou restructuration .....	66

CHAPITRE 3 APPROCHE UTILISÉE .....	68
3.1 Objectifs de la recherche .....	68
3.2 Méthodologie.....	68
3.2.1 Comment connaître l'état fonctionnel des réseaux .....	69
3.2.2 Diagnostic hydraulique et environnemental.....	70
3.2.3 Apport de la modélisation .....	74
CHAPITRE 4 PROJET RÉALISÉ.....	88
4.1 Nature du projet.....	88
4.1.1 Description du site.....	88
4.1.2 Problématique hydraulique et environnementale du site .....	92
4.1.3 Diagnostic hydraulique et environnemental du réseau.....	95
4.1.4 Analyse des performances hydrauliques et environnementales .....	96
4.1.5 Définition des performances souhaités.....	103
4.1.6 Performances actuelles .....	106
4.1.7 Analyse des différentes avenues de solutions .....	110
4.1.8 Solution choisie .....	113
4.2 Analyse des résultats et discussion.....	121
4.2.1 Performance de la solution .....	126
4.2.2 Généralisation.....	131
4.2.3 Perspectives .....	133
CONCLUSION .....	136
BIBLIOGRAPHIE .....	138

## **LISTE DES TABLEAUX**

	Page
Tableau I	Grille d'évaluation du MDDEP pour le contrôle des débordements..... 11
Tableau II	Critères d'évaluation de la performance hydraulique ..... 31
Tableau III	Fonctionnalités nécessaires à la gestion en temps réel..... 43
Tableau IV	Niveau d'organisation d'un système de gestion en temps réel ..... 44
Tableau V	Légende de la STAP Rhéaume..... 91
Tableau VI	Caractéristiques des événements pluvieux échantillonnés..... 102



## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1	Méthodologie de conception d'un réseau d'égout (S. Bennis, 2004) ..... 10
Figure 2	Démarche générale de gestion d'un réseau d'infrastructures (CERIU, 1999) 14
Figure 3	Modification de l'hydrologie causée par l'urbanisation (InfraGuide, 2003) . 22
Figure 4	Mise en charge des réseaux (Bennis, 2002)..... 29
Figure 5	Ruissellement avant et après urbanisation (InfraGuide, 2003)..... 36
Figure 6	Réduction de l'amplitude des débordements(InfraGuide, 2003) ..... 37
Figure 7	Mise au point d'un plan de gestion des eaux pluviales (InfraGuide, 2003) .. 39
Figure 8	Schéma fonctionnel de l'approche urbistique (Revaz, 2001)..... 53
Figure 9	Exploitation d'une infrastructure urbaine (Konaré, 2001) ..... 55
Figure 10	Le système de contrôle intégré des intercepteurs (CMM) ..... 58
Figure 11	Topologie du système de contrôle des intercepteurs (CMM)..... 59
Figure 12	Approche structurée pour la réhabilitation (S. Bennis, 2004) ..... 71
Figure 13	Construction des fonctions de performance (S. Bennis, 2004)..... 72
Figure 14	Mise en oeuvre du plan (S. Bennis, 2004)..... 73
Figure 15	Génération des hydrogrammes ..... 77
Figure 16	Organigramme fonctionnel des logiciels courants..... 78
Figure 17	Courbes intensité-durée-fréquence Dorval ..... 85
Figure 18	Localisation du site à l'étude ..... 88
Figure 19	Station Rhéaume et ouvrages de la CMM ..... 90
Figure 20	Localisation des plaintes d'inondations..... 93
Figure 21	Caractérisation du bassin drainant ..... 97
Figure 22	Caractérisation du réseau de conduits..... 99
Figure 23	Données de pluies utilisées pour la validation..... 100
Figure 24	Représentation axonométrique des critères ..... 104
Figure 25	Comparaison des mesures de pluie (Rossi, 2001) ..... 106
Figure 26	Débordement face aux pluies de conception (Rossi, 2001)..... 109
Figure 27	Toits plats..... 110

Figure 28	Réduction de débits par écrêtement (Rossi, 2001).....	112
Figure 29	Réseau de sub-surface.....	114
Figure 30	Réservoirs de rétention souterrains en gravier.....	115
Figure 31	Restructuration et réseau de sub-surface.....	116
Figure 32	Puits de régulation de l'émissaire.....	117
Figure 33	Unité hydraulique de régulation.....	117
Figure 34	Pluviomètre.....	118
Figure 35	Commande automatique des équipements.....	118
Figure 36	Système de mesure en continu de la qualité.....	119
Figure 37	Sonde multi-paramètres.....	119
Figure 38	Campagne de mesure (Rossi, 2001).....	122
Figure 39	Interception du débit de premier flot.....	128
Figure 40	Isolement des émissaires.....	129

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES**

<b>BAPE</b>	<b>Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement</b>
<b>BMP</b>	<b>Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines</b>
<b>CMM</b>	<b>Communauté métropolitaine de Montréal</b>
<b>CERIU</b>	<b>Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines</b>
<b>CNRC</b>	<b>Conseil National de la Recherche du Canada</b>
<b>COD</b>	<b>Carbone organique dissous</b>
<b>CREM</b>	<b>Centre de recherches énergétiques et municipales</b>
<b>CSO</b>	<b>Combine sewer overflow</b>
<b>CTROP</b>	<b>Contrôle en temps réel optimal et prédictif</b>
<b>CUM</b>	<b>Communauté urbaine de Montréal</b>
<b>CUQ</b>	<b>Communauté urbaine de Québec</b>
<b>CWA</b>	<b>Clean water act</b>
<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>Demande biochimique en oxygène sur 5 jours</b>
<b>DCO</b>	<b>Demande chimique en oxygène</b>
<b>ELPC</b>	<b>Élévation de la ligne piezométrique</b>
<b>EPFL</b>	<b>École polytechnique fédérale de Lausanne</b>
<b>ETS</b>	<b>École de technologie supérieure</b>
<b>FCM</b>	<b>Fédération canadienne des municipalités</b>
<b>FHWA</b>	<b>Federal Highway Administration</b>
<b>GOC</b>	<b>Global optimal control</b>
<b>GTR</b>	<b>Gestion en temps réel</b>
<b>I</b>	<b>Intensité de la pluie dans l'équation, mm/h</b>
<b>IDF</b>	<b>Intensité-durée-fréquence</b>
<b>IWA</b>	<b>International Water Association</b>
<b>L</b>	<b>Litres</b>
<b>LARIM</b>	<b>Laboratoire de recherche en réseautique et informatique mobile</b>
<b>LCCA</b>	<b>Life cycle cost analysis</b>

LRC	Local reactive control
m	Mètre
m <sup>3</sup> /s	Mètres cubes par seconde
MDDEP	Ministère développement durable de l'environnement et des parcs
MENV	Ministère de l'environnement
mg/L	Milligrammes par litre
mL/L	Millilitres par litre
mm/h	Millimètres à l'heure
m/s	Mètres par seconde
MES	Matières en suspension
NH <sub>4</sub>	Ion ammonium
NO <sub>2</sub>	Oxyde d'azote
NO <sub>3</sub>	Ion nitrate
NPDES	National pollutant discharge elimination system
O <sub>2</sub>	Oxygène
OD	Oxygène dissous
OER	Objectifs environnementaux de rejets
PAEQ	Programme d'assainissement des eaux du Québec
PADEM	Programme d'assainissement des eaux municipales
PGO	Pratique de gestion optimale
P <sub>tot</sub>	Phosphore total
Q	Débit maximal normal dans l'équation, m <sup>3</sup> /s
RTC	Real time control
SCADA	Système de commande et d'acquisition de données automatiques
SIAD	Système intelligent d'aide à la décision
SICOS	Système intégré de commande et de surveillance
SIDI	Système intégré des intercepteurs
SIG	Système d'information géographique
SIGIU	Système intégré de gestion d'infrastructures urbaines

SMER	Système de monitoring de l'émissaire Rhéaume
SSO	Storm sewer overflow
STAP	Station de pompage
STEP	Station d'épuration des eaux
SUDS	Sustainable urbain drainage systems
SWMM	Storm water management model
TIC	Telecom informatic & communication
UDFCD	Urban drainage and flood control district
US EPA	United States environmental protection agency
UTN	Unité de turbidité néphélométrique
WRC	Water research center

## INTRODUCTION

Ce n'est que depuis la fin de la première moitié du 19<sup>e</sup> siècle que des réseaux de collecte des eaux usées domestiques et industrielles furent déployés à des fins d'hygiène publique. À cette époque l'objet de l'assainissement se limitait au transfert des effluents domestiques loin des lieux habités par les voies les plus rapides.

Cette approche, malgré ses nombreux inconvénients, est tout de même perçue encore aujourd'hui comme une des principales percées technologiques et sociales de cette époque pour l'amélioration de la qualité de vie des populations. En effet elle a contribué, plus que toute autre mesure, à sortir les communautés des conditions pestilentielles et immondes qui prévalaient dans les grandes agglomérations à cette période.

Avec l'industrialisation, l'essor économique soutenu des pays développés et l'explosion démographique qui s'ensuivit, la nécessité de protéger la nature contre la pollution générée par les activités humaines émergea. Il fallait donc traiter les rejets pour que les produits nocifs évacués ne puissent souiller au-delà d'une limite admissible les cours d'eau récepteurs.

Aujourd'hui nos connaissances en matière d'assainissement nous obligent à mettre en place des moyens de préservation de la ressource beaucoup plus efficaces parce que l'alimentation en eau des populations est désormais menacée et ne peut être assurée sans difficultés partout dans le monde.

Au Québec plus particulièrement des sommes colossales furent investies pour pallier la pollution de l'eau des rivières et pour redonner aux populations l'accès à une eau propre. C'est ainsi que fut mis en oeuvre en 1978 le Programme d'assainissement des eaux (PAEQ). Ce programme consistait à doter les réseaux existants d'ouvrages d'interception et de traitement.

C'était un programme de grande envergure, étant donné qu'auparavant moins de 2 % de la population du Québec était desservie par une station d'épuration. Depuis, plus de 900 municipalités ont été visées et 7 milliards \$ furent dépensés. En 1994 le PAEQ a été remplacé par le Programme d'assainissement des eaux municipales (PADEM). En 1995, 500 municipalités représentant 80 % de la population avaient complété leurs ouvrages d'assainissement et l'objectif de desservir 98 % de la population a été atteint à la fin de 1999.

La mise en service des stations d'épuration a donc permis une baisse significative des concentrations de phosphore et une diminution de la turbidité et de la concentration bactériologique dans les cours d'eau. Depuis 1978, la pollution visuelle et les problèmes d'odeurs provenant des cours d'eau ont été réduits sinon éliminés à plusieurs endroits par les interventions d'assainissement urbain et industriel.

Le pourcentage de la population raccordée à un réseau d'égouts municipal dont les eaux sont traitées par une station d'épuration s'élève maintenant à 99 % au Québec. Malgré cela, il reste des efforts à faire afin de retrouver une qualité d'eau permettant la récupération des usages de ces cours d'eau. Outre les problèmes occasionnés par d'autres formes de pollution l'intégrité des eaux de surface est encore altérée par une contamination microbienne provenant des débordements en temps de pluie.

Pour les grandes agglomérations québécoises cette contamination compromet de nombreux usages récréatifs et utilitaires de l'eau. Elle provient principalement d'une multitude de sources de rejets non traités et des débordements fréquents de réseaux d'égouts.

Ces débordements résultent souvent de la configuration structurelle des réseaux qui furent construits suivant le principe du tout-à-l'égout et souvent bien avant qu'on y juxtapose après coup des ouvrages d'interception et de traitement.

Le principe du tout-à-l'égout consiste à évacuer par voie hydraulique, le plus rapidement possible et sans stagnation, les déchets provenant d'une agglomération urbaine. Les ouvrages conçus suivant ce principe, souvent parce qu'ils ne possèdent pas ou plus de capacité résiduelle ne sont pas en mesure de faire face à l'accroissement permanent des volumes de rejets. Cette situation est rattachée à la croissance urbaine qui est exponentielle et aussi à l'occurrence de pluies qui excèdent la capacité de ces ouvrages.

Ainsi, les problèmes fonctionnels ou dysfonctionnements généralement rencontrés au niveau hydraulique et qui nécessitent des correctifs sont les surcharges et les inondations.

De plus la problématique environnementale des réseaux d'assainissement est associée elle aussi, à cette même augmentation du débit de l'effluent. Cette augmentation engendre des débordements de polluants en provenance de ces réseaux qui dépassent la capacité d'auto-épuration des cours d'eau récepteurs et affecte la qualité de l'eau.

Dans ce contexte et compte tenu des enjeux de la récupération des usages des cours d'eau, il est important de réfléchir sur la nécessité de restructurer ces réseaux de façon à ce qu'ils puissent mieux jouer leur rôle.

Suite à l'évolution des pratiques de l'assainissement les réseaux séparatifs furent introduits comme une solution miracle qui devait mettre fin aux divers problèmes rencontrés dans les réseaux unitaires.

De nos jours, plusieurs experts les considèrent comme des ouvrages coûteux et contraignants (Bengassem, 2001). En effet il a été démontré à bien des égards que les eaux pluviales peuvent être tout aussi polluées que les eaux sanitaires.



L'analyse des approches actuelles laisse entrevoir qu'il n'y a pas eu récemment d'initiative significative pour restructurer ces réseaux et permettre à la fois une réhabilitation hydraulique et environnementale intégrée.

Afin de pallier cette lacune, nous proposons un concept original de réhabilitation hydraulique et environnementale en instaurant dans les milieux fortement urbanisés des grandes agglomérations un réseau de sub-surface. Ce réseau est assisté grâce aux techniques de contrôle en temps réel pour minimiser les déversements.

Ce concept a été validé lors d'une étude pilote réalisée dans le cadre du projet de la réhabilitation hydraulique et environnementale du bassin Rhéaume situé dans l'arrondissement Verdun de la Ville de Montréal.

Lors de ce projet un système de monitoring de la qualité a été installé. Ce système fait appel à des technologies de mesure en continu de la qualité de l'eau. Il vient en complément au système servant au contrôle des intercepteurs de la station d'épuration de la ville de Montréal et doit maintenant être incorporé au système de contrôle en temps réel optimal et prédictif de ces intercepteurs.

Le concept mis de l'avant au cours de cette recherche possède des avantages économiques découlant de l'opération et de la gestion d'un réseau de sub-surface. Il y a des gains environnementaux associés à la configuration choisie qui permet de véhiculer des eaux sanitaires plus concentrées vers les intercepteurs et les stations d'épuration.

De plus les trop-pleins au cours d'eau récepteur en temps de pluie sont moins chargés en matières polluantes. Ils sont donc de meilleure qualité et engendrent moins d'impacts sur l'environnement.

Ce mémoire comporte quatre chapitres. Le premier chapitre traite des différentes notions de base associées aux réseaux d'assainissement.

Au chapitre 2, la problématique des réseaux d'assainissement et des déversements en temps de pluie est abordée. Puis une revue de la littérature scientifique présente l'état de la connaissance en la matière.

Cette revue permet de situer ce travail en rapport avec ce qui se fait ailleurs dans ce domaine. Elle le place dans le cadre plus large de la gestion intégrée des ouvrages d'infrastructure urbaine et des interventions s'intéressant à la réhabilitation hydraulique et environnementale des réseaux. Elle s'inscrit aussi en regard des pratiques de gestion optimale de la ressource eau BMP (*Best Management Practices*), de la gestion en temps réel RTC (*Real Time Control*) et celui émergent de l'urbistique.

Le chapitre 3 est dévolu aux aspects et fondements méthodologiques. Les objectifs de la recherche sont dans un premier temps définis puis les outils, les paramètres et les modèles nécessaires à l'analyse sont présentés.

Le chapitre 4 est consacré à l'étude d'un projet d'envergure. Le concept de base mis de l'avant dans la présente étude, son élaboration et sa mise en œuvre sont présentés, ainsi qu'une analyse des performances du concept retenu et des résultats. Finalement la conclusion présente une synthèse, les recommandations et les perspectives envisagées.

## **CHAPITRE 1**

### **CARACTÉRISTIQUES DES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT**

#### **1.1 Introduction**

Ce chapitre présente sommairement les diverses caractéristiques générales des réseaux d'assainissement. Outre les diverses typologies, la présentation de ces caractéristiques ne sera pas limitée aux caractéristiques physiques et fonctionnelles de ce type d'infrastructure urbaine. Elle portera également sur la gestion de l'entretien de ces ouvrages.

#### **1.2 Caractéristiques générales**

##### **1.2.1 Typologie des réseaux d'assainissement**

Les réseaux d'assainissement sont des infrastructures urbaines communément appelées systèmes urbains. Une infrastructure urbaine est un système physique qui offre des services publics essentiels à la population d'une ville.

L'évacuation des eaux usées est la fonction dévolue au réseau d'assainissement. Ce système est constitué d'un ensemble d'éléments physiques comprenant des conduits, des regards, des puisards, des stations de pompage et d'épuration, des bassins de rétention et de nombreux ouvrages de contrôle.

Le rôle principal des réseaux d'assainissement est donc la collecte et l'évacuation des eaux usées vers une usine d'épuration ou un milieu récepteur. Cette évacuation est faite généralement par gravité, à l'exception des endroits où il faut recourir à des stations de pompage.

Les réseaux d'assainissement doivent éliminer les eaux usées domestiques et industrielles pour assurer l'hygiène publique tout en évitant la pollution des milieux naturels. Ils doivent également évacuer les eaux pluviales d'une façon adéquate afin d'empêcher l'inondation des zones urbaines et assurer ainsi le confort et la sécurité des populations. Il existe quatre (4) types de réseaux (Brière, 2000) :

– **Le réseau d'égout sanitaire :**

Un réseau d'égout sanitaire transporte les eaux usées d'origine domestique ainsi que les eaux provenant des commerces, des établissements industriels, institutionnels et les eaux dites parasites.

– **Le réseau d'égout pluvial :**

Le réseau d'égout pluvial est destiné à canaliser les eaux de ruissellement pour généralement les déverser dans un cours d'eau récepteur sans traitement.

Le réseau d'égout unitaire ou combiné :

Dans ce type de réseau d'égout toutes les eaux usées d'origine domestique, pluviale, industrielle, commerciale et institutionnelle sont canalisées dans un seul conduit.

– **Le réseau d'égout pseudo-séparatif :**

Dans cette configuration l'égout sanitaire reçoit les eaux usées d'origine domestique et certaines eaux pluviales comme les eaux issues des drains de fondation et des toits plats. L'égout pluvial draine les eaux de ruissellement provenant des chaussées et des surfaces perméables.

Ces différents types de réseaux se retrouvent en diverses proportions sur un territoire donné suivant l'époque de leur construction. Les réseaux unitaires et pseudo-séparatifs étant les plus anciens.

Au Québec, la construction de nouveaux réseaux combinés et pseudo-séparatifs est désormais interdite. Par contre, plusieurs réseaux conçus selon ce principe sont toujours opérationnels. Ils doivent maintenant respecter certains critères de performance.

C'est principalement dans les quartiers urbains les plus anciens et les plus densément peuplés que sont concentrés les réseaux de types unitaire et pseudo-séparatif.

Les réseaux séparatifs sont des constructions beaucoup plus récentes et on les retrouve surtout dans les banlieues ou en périphérie des grandes agglomérations. Tous ces réseaux sont hiérarchisés. Dans un premier temps, les eaux usées sont recueillies par des égouts locaux et puis elles sont ensuite acheminées vers des conduites de diamètres supérieurs appelées collecteurs.

Ceux-ci se déversaient directement dans les cours d'eau récepteurs avant qu'on y juxtapose des ouvrages d'interception et de traitement dans le cadre des interventions du Programme d'assainissement des eaux (PAEQ) au cours des années 80 et 90.

Aujourd'hui des intercepteurs recueillent les eaux usées transportées par les réseaux sanitaires, unitaires et pseudo séparatifs et ils les acheminent vers les stations d'épuration pour traitement. Parallèlement les collecteurs pluviaux se déversent toujours aux cours d'eau récepteurs sans traitement. Toutefois, il est important de préciser que les intercepteurs ne sont conçus que pour véhiculer un débit de pointe en temps sec majoré d'un certain facteur de sécurité. Or en temps de pluie les débits véhiculés dans les collecteurs peuvent atteindre voire dépasser cent fois le débit de temps sec.

Pour éviter cette surcharge, des ouvrages de régulation sont installés aux points de raccordement entre les collecteurs et l'intercepteur. Ainsi grâce à ces régulateurs les débits excédant la capacité de l'intercepteur sont déversés directement dans les cours d'eau par le biais des émissaires existants et des déversoirs d'orage.

En conséquence un mélange d'eau domestique et pluviale est fréquemment rejeté directement dans les cours d'eau sans traitement. Ces déversements sont connus sous le nom de CSO (*Combined Sewer Overflow*).

### **1.2.2 Conception des réseaux d'assainissement**

Un réseau d'assainissement se conçoit sur la base d'un équilibre économique entre le coût du réseau et le niveau de service souhaité compte tenu de certains critères. Les dimensions physiques des réseaux, les matériaux, les diamètres, les pentes sont choisies à partir des caractéristiques rencontrées sur le terrain, en fonction des débits de conception et conformément aux règles de l'art.

Au Québec, la directive 004 du Ministère du Développement Durable de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) fournit les critères minimaux que doivent respecter les différents réseaux d'assainissement (Québec., 1989).

En premier lieu le réseau d'égout pluvial doit véhiculer sans surcharge le débit généré par une pluie de récurrence de 5 ou 10 ans. Il doit également respecter des critères de construction associés aux différentes sollicitations externes, à savoir la résistance aux charges et agents agressifs des sols, aux surcharges et à l'usure qui résulte de l'abrasion par un régime hydraulique bien défini.

Le réseau sanitaire doit être étanche et capable de véhiculer le débit de pointe des eaux usées d'origine domestique, commerciale et industrielle en plus d'un certain débit d'eaux parasites et il doit aussi répondre aux mêmes exigences que l'égout pluvial face aux sollicitations externes.

Le réseau combiné, qui n'est plus construit de nos jours qu'avec une autorisation spéciale du MDDEP devrait véhiculer sans surcharge le débit généré par une pluie de récurrence d'une fois en 5 ans. Il en est de même pour le réseau pseudo-séparatif qui doit véhiculer le débit de pointe des eaux usées d'origine domestique, commerciale et industrielle en plus d'un certain débit provenant des drains de toits, de fondation et des entrées de garage situées sous le niveau du sol.

La figure 1 extraite du rapport synthèse de développement du logiciel Préval présente une procédure générique de conception d'un réseau (S. Bennis, 2004).

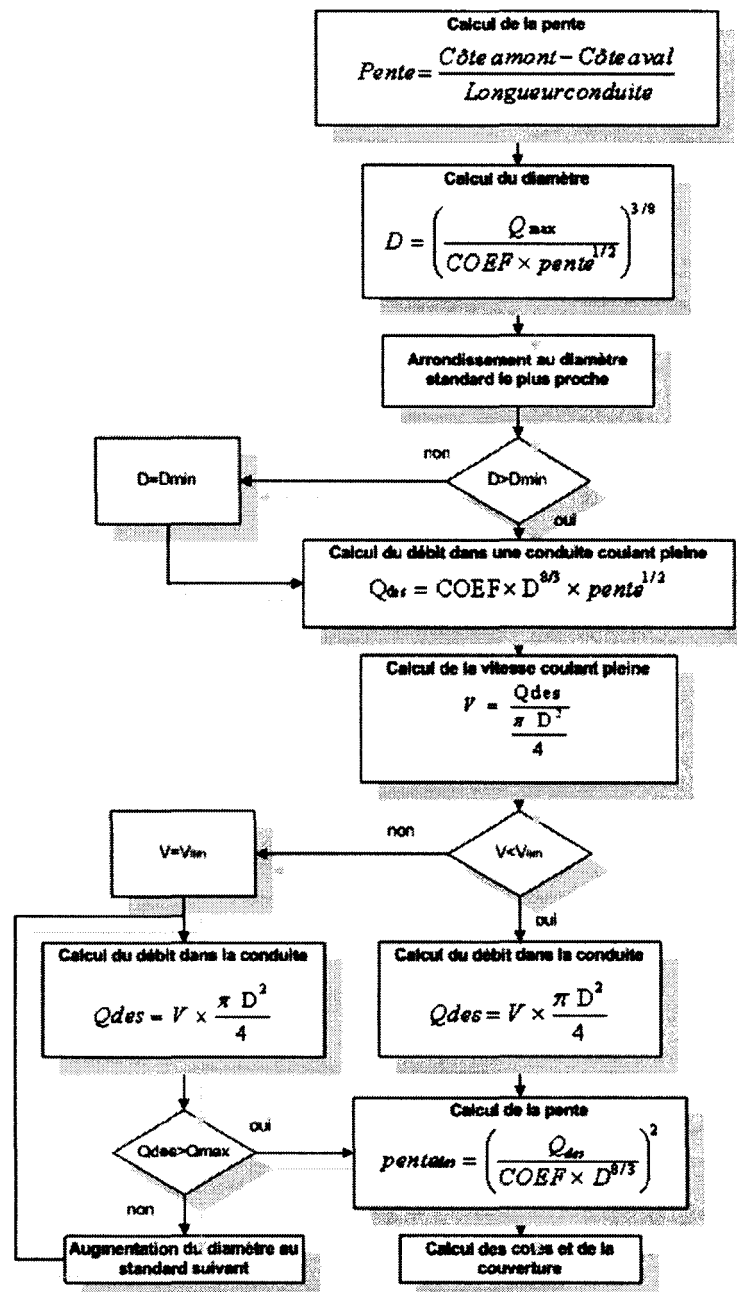


Figure 1 Méthodologie de conception d'un réseau d'égout (S. Bennis, 2004)

Ainsi à partir des débits et des paramètres physiques du terrain et particulièrement la pente, il faut déterminer un premier diamètre approximatif qui doit être par la suite arrondi au diamètre standard le plus proche. Dans un deuxième temps, il faut établir un débit de conception qui correspond à cette conduite coulant pleine. Il s'agit alors vérifier si les vitesses minimales et maximales d'écoulement admissibles sont respectées. Il peut également devenir nécessaire de réajuster au besoin le diamètre ou la pente pour satisfaire ces conditions.

Outre ces considérations de design les réseaux combinés et pseudo-séparatifs doivent de plus respecter certains critères de performance environnementaux imposés par le MDDEP. La grille d'évaluation qui résume cette approche est présentée au tableau I (Brouillette, 2001).

**Tableau I**  
**Grille d'évaluation du MDDEP pour le contrôle**  
**des débordements**

Usages à protéger	Période critique	Objectifs environnementaux de rejets (OER)	
		Zones lotiques	Zones lenticques
Prises d'eau potable	À l'année	Aucun débordement à moins d'un Km en amont	
Zones de cueillette de mollusques			
Contact direct	1 <sup>er</sup> juin au 30 septembre ou 1 <sup>er</sup> mai au 31 octobre	Maximum un débordement par mois	Maximum un débordement par deux mois
Contact indirect	1 <sup>er</sup> mai au 31 octobre		
Contact visuel	1 <sup>er</sup> mai au 31 octobre		
Salubrité	1 <sup>er</sup> mai au 30 novembre		
Irrigation Abreuvement de bétail	Selon les besoins	Selon jugement professionnel	
Vie aquatique	À l'année	Aucun débordement sur le site de frai ou immédiatement en amont	



Ces critères sont qualifiés d'objectifs environnementaux de rejets (OER). Cette approche est basée sur le contrôle du nombre de débordements dans le cours d'eau récepteur en temps de pluie au cours d'une année. Le dépassement du nombre de débordements permis suppose donc le dépassement de critères génériques. Ainsi, pour le contrôle des débordements le MDDEP fixe des fréquences de débordements tolérables en fonction des usages de l'eau et des conditions hydrodynamiques du milieu récepteur.

En plus des objectifs, certaines exigences de base sont applicables à tous les ouvrages de débordements :

- aucune augmentation des débordements en temps de pluie dans le futur par rapport à la situation actuelle;
- aucun débordement d'eaux usées ayant de fortes charges en DBO<sub>5</sub>, toxiques ou à couleur prononcée;
- enlèvement des résidus flottants.

### **1.2.3 Gestion de l'entretien des réseaux d'assainissement**

L'exploitation d'un système urbain se définit comme étant l'action qui consiste à mettre en valeur ce patrimoine urbain. Dans ce cadre la gestion de l'entretien des réseaux d'assainissement et des ouvrages d'infrastructure urbaine constitue l'ensemble des décisions à prendre, des interventions à effectuer et des ressources à mobiliser dans le but de maintenir ces ouvrages en bon état de fonctionnement et de la façon la plus efficiente possible. Elle vise ainsi à assurer la préservation des performances structurales, fonctionnelles et environnementales de ce type de patrimoine collectif.

De nos jours à cause de la complexification des environnements techniques, politiques, institutionnels, juridiques, sociaux et économiques cette tâche est devenue de plus en plus difficile.

Les municipalités canadiennes évoluent actuellement dans le contexte difficile du transfert des responsabilités et des diminutions de ressources tant financières qu'humaines.

Cette situation entraîne un besoin grandissant d'outils d'aide à la décision particulièrement dans le domaine de la gestion des infrastructures urbaines.

Le durcissement de la réglementation relative à la protection de l'environnement ainsi que la diminution des ressources financières exigent toutes les deux la prise en compte d'un nombre de paramètres toujours plus grand et la manipulation d'une grande quantité de données. Les lacunes au niveau de la gestion de l'entretien des infrastructures urbaines soumettent les municipalités à des contraintes de plus en plus sévères en raison du désengagement des autres paliers de gouvernement.

Aujourd'hui, face à la prise de conscience environnementale des populations et des pressions qu'elles exercent sur les administrations publiques l'exploitation d'un système urbain doit s'inscrire dans un souci de développement durable. C'est une notion qui a été entérinée au Sommet de la Terre de Rio en 1992 par un engagement international important des États participants. Le développement durable fait référence à des modèles de développement qui répondent aux besoins des générations actuelles tout en préservant les possibilités de satisfaire les besoins des générations futures en intégrant des considérations environnementales.

Dans une optique aussi large la gestion de l'entretien des réseaux d'assainissement par les municipalités va bien au-delà des opérations courantes de nettoyage et de réparation quotidienne de ces réseaux. En effet, il s'agit d'une réalité beaucoup plus complexe en ce qu'elle doit se traduire en actions systématiques de management, d'affectation et d'intégration des ressources humaines, techniques et financières.

Il s'agit de réaliser et de coordonner de nombreuses tâches simultanément; que ce soit pour la collecte d'un inventaire ou pour la réalisation d'études qui ont pour but de prioriser, planifier, construire, réhabiliter, inspecter, suivre et entretenir les diverses composantes du réseau d'assainissement. Toutes ces tâches nécessitent la considération de nombreux facteurs d'ordre géographique, démographique, technique, économique, urbanistique, légal et budgétaire pour n'en nommer que quelques-uns qui sont intimement rattachés à des préoccupations d'aménagement et de développement du territoire.

Le CERIU (CERIU, 1999) a adopté une démarche générique divisée en deux niveaux pour la gestion de l'entretien d'une infrastructure urbaine à savoir le niveau réseau et le niveau projet. Cette approche est montrée à la figure 2.

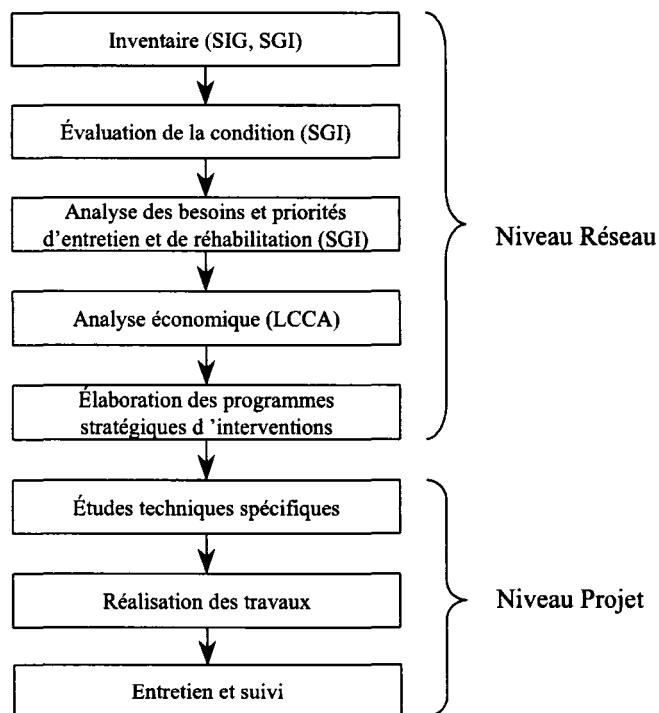


Figure 2 Démarche générale de gestion d'un réseau d'infrastructures (CERIU, 1999)

La première étape l'inventaire, consiste à collecter toutes les données et les caractéristiques significatives du réseau. L'évaluation de la condition constitue la deuxième étape de cette démarche et a comme principal objectif de mettre en exergue les défaillances du réseau et de caractériser l'état de ses différentes composantes. La troisième étape permet d'établir une liste par ordre de priorité des besoins d'interventions pour l'entretien ou la réhabilitation. Une analyse économique sur l'ensemble du cycle de vie de l'infrastructure LCCA (*Life Cycle Cost Analysis*) permet ensuite de préciser les besoins d'interventions identifiés précédemment.

L'élaboration des programmes stratégiques d'intervention constitue principalement l'arrimage des priorités établies aux étapes précédentes. Ces premières étapes complètent le premier niveau qualifié de niveau réseau d'opération.

C'est à la sixième étape que les études techniques spécifiques et le raffinement des études sont réalisés. À cette étape les gestionnaires urbains doivent procéder à des études plus poussées avant la réalisation des travaux. En effet c'est à ce stade que le niveau de service est rétabli.

Lors de la réalisation des travaux et des interventions le suivi de la performance permet de maintenir le niveau de fonctionnalité souhaité. Ces trois étapes complètent le niveau projet d'opération.

Ainsi, la maîtrise du processus associé à la maintenance d'un réseau d'assainissement réside dans un suivi systématique d'objectifs de performance et pour toute la durée du cycle de vie de cette infrastructure.

Ce suivi englobe les processus de planification stratégique, les inventaires, les évaluations et les diagnostics, la mesure, la prise de décision, la budgétisation, l'ordonnancement et l'allocation des ressources.

Il est clair que la maîtrise de ces processus est inhérente au problème de la gestion de l'information nécessaire à la connaissance des conditions réelles de fonctionnement. Ces informations sont essentielles pour le contrôle des performances, des coûts, des ressources et des échéanciers. Elles sont indispensables également pour programmer les investissements qui visent le renouvellement des réseaux existants. Cette maîtrise nécessite la collaboration de plusieurs acteurs. Dans cette circonstance, elle est intimement attachée au défi de la gestion de l'information.

Pour s'acquitter de tâches aussi nombreuses et complexes il apparaît souhaitable que les gestionnaires urbains adoptent des approches de gestion de plus en plus sophistiquées. De telles approches de gestion devraient répondre aux besoins des citoyens et être guidées par une mission cohérente avec ces besoins suivant une approche systémique et en adoptant une vision à long terme accessible et flexible.

Aux USA, la Federal Highway Administration (FHWA) considère, qu'une approche de gestion doit inclure une analyse stratégique des besoins, un inventaire exhaustif des actifs et une évaluation de leurs états, de leurs performances dans le but d'établir dans quelle mesure les objectifs stratégiques sont effectivement comblés (FHWA, 1999).

Les informations d'usage devraient être conservées sous forme de bases de données relationnelles à références spatiales. Elles doivent être jointes au processus d'allocation des ressources financières et matérielles, à l'ordonnancement des activités et à des outils d'analyses techniques et économiques possédant des fonctionnalités de rétroaction et de prédiction des performances.

Selon la FHWA, ce sont ces fonctionnalités qui permettent de maîtriser la démarche de gestion de l'entretien d'un réseau et tout en respectant à la fois son intégrité et les processus mis en jeu tout au long du cycle de vie de cette infrastructure.

Suivant la démarche proposée par la FHWA, la définition des besoins est circonscrite par quatre éléments de base. Les objectifs, les usages, la portée et la performance. Les objectifs traduisent la stratégie générale. Les usages définissent ce que les travaux doivent combler. La portée identifie et place les exigences des services en perspective des contraintes de disponibilité ou réglementaires et enfin la performance établit le niveau de service qui doit être atteint au cours du cycle de vie du système et par l'intégrité du produit fini (FHWA, 1999).

Compte tenu de la complexité technique de fonctionnement des réseaux d'assainissement et de la présence de contraintes conflictuelles de différentes natures, depuis plusieurs années, un grand nombre de chercheurs et d'institutions se sont également intéressés et ont investi beaucoup d'efforts afin de développer des systèmes de gestion des réseaux d'assainissement qui permettent d'optimiser la planification des interventions de réhabilitation et d'entretien (Deveau, 2001).

## **CHAPITRE 2**

### **PROBLÉMATIQUE ET ÉTAT DE LA CONNAISSANCE**

#### **2.1 Problématiques**

##### **2.1.1 Problématique générale des réseaux d'assainissement**

L'exploitation d'un réseau d'assainissement est avant tout un service fourni aux citoyens pour assurer leur santé, leur sécurité et un milieu de vie de qualité. À ces considérations de bases s'ajoutent tous les autres facteurs qui doivent être pris en compte pour mener à bonne fin un projet bien conçu et réalisé dans le respect des objectifs budgétaires et environnementaux.

Son but premier consiste grosso modo à collecter et à évacuer les eaux usées. De nos jours les eaux pluviales sont évacuées directement dans les cours d'eau et les eaux sanitaires sont véhiculées vers une usine d'épuration qui doit en disposer selon un programme préétabli de façon sécuritaire pour les personnes et le milieu récepteur. Ce sont ces éléments qui caractérisent ou définissent l'intégrité du fonctionnement d'un réseau d'assainissement à toutes les étapes de sa vie utile.

Les défaillances hydrauliques et environnementales des réseaux d'assainissement se manifestent lorsque d'un point de vue fonctionnel ceux-ci ne sont plus en mesure d'évacuer d'une façon adéquate ces eaux usées générées par l'urbanisation sur un bassin versant tout en respectant les objectifs précités. Les répercussions générales de l'urbanisation sur un bassin versant se manifestent principalement par une série de modifications aux conditions hydrologiques qui apparaissent progressivement à chaque étape de l'intensification du développement urbain qui apportent continuellement des nouvelles surfaces imperméables au détriment des surfaces autrefois perméables.

L'imperméabilisation des surfaces a de nombreux impacts. Parmi les conséquences liées à ce phénomène on retrouve typiquement (InfraGuide, 2003) :

- un débit de pointe deux à cinq fois supérieur aux niveaux antérieurs à l'urbanisation;
- l'augmentation du volume d'eau de ruissellement à chaque orage;
- la diminution du temps de concentration;
- des inondations plus fréquentes et plus graves;
- une baisse du débit des cours d'eau durant les périodes de sécheresse prolongées, en raison de la baisse du niveau d'infiltration dans le bassin versant;
- l'augmentation de la vitesse de l'écoulement durant les orages.

De plus, avec le temps et l'usure inhérente à son utilisation un réseau devient plus rugueux et perd progressivement ses propriétés physiques. Les principales dysfonctions sont donc celles causées par le vieillissement et l'augmentation des débits résultant de l'expansion de l'urbanisation. Ces mêmes dysfonctions peuvent également être causées par des défauts de conception ou de construction. Elles peuvent être dues à de mauvaises démarches ou parfois même à des lacunes de gestion, d'entretien ainsi qu'à des changements dans les conditions de rejet (Bengassem, 2001).

### **2.1.2 La défaillance structurale des réseaux d'assainissement**

Les facteurs mentionnés précédemment peuvent aussi occasionner des dysfonctions structurales. Ce phénomène se produit lorsque le réseau est affaibli sous l'action de son environnement immédiat.

La défaillance structurale résulte ainsi de l'affaiblissement de l'intégrité physique d'un réseau souvent due à sa vétusté.



Par exemple sous l'effet de surcharges un conduit peut se dégrader, se déformer, se fissurer ou même s'effondrer. Toutes ces dysfonctions structurales affectent plus ou moins le fonctionnement d'un réseau d'assainissement. Elles sont susceptibles d'amplifier les anomalies fonctionnelles qui leur sont très étroitement rattachées.

On peut référer aux problèmes d'étanchéité qui en favorisant l'infiltration et l'exfiltration de l'eau de la nappe phréatique viennent affecter le fonctionnement hydraulique d'une installation.

Étant donné que la présente étude est dédiée plus particulièrement aux aspects concernés par une restructuration hydraulique et environnementale des réseaux d'assainissement les aspects touchant la réfection des dégradations des défauts et des fissures ne seront pas abordés ici plus en détail. Cette réfection est plus souvent associée à la réhabilitation structurale. Ainsi la réhabilitation structurale proprement dite des réseaux ne sera pas abordée. Même s'il est connu, que les diverses techniques de réhabilitations structurales des ouvrages par gainage ou tubage par exemple, peuvent permettre la correction de défaillances fonctionnelles, en réduisant principalement la friction dans une conduite. Ce qui est en quelque sorte une forme de réhabilitation hydraulique.

### **2.1.3 La défaillance hydraulique**

Une défaillance hydraulique se produit, lorsque le réseau pluvial ou unitaire ne peut pas évacuer les effluents correspondant à une pluie de période de retour prédéfinie sans générer de dommages à la propriété. Ce type de défaillances engendre les refoulements, les inondations, les fuites excessives ainsi que les instabilités hydrauliques. Par exemple dans un réseau pluvial il est fréquent que les eaux de ruissellement générées par une pluie atteignent des valeurs qui dépassent la capacité et les conditions qui étaient prévues lors de sa conception.

Dans un réseau combiné les eaux issues du ruissellement peuvent même dépasser cent fois les débits moyens de temps sec. Elles occasionnent des refoulements et des inondations qui sont en plus compliquées par les considérations d'hygiène publique dues aux déversements de polluants toxiques. La principale cause associée à cette problématique est une augmentation du débit de l'effluent associée à un développement urbain supérieur aux prévisions.

Lors de l'urbanisation d'un territoire, ce sont principalement le coefficient de ruissellement et le temps de concentration des surfaces qui sont modifiés. Comparativement aux conditions naturelles l'imperméabilisation des surfaces diminue l'infiltration et alors elle génère des volumes d'eau de ruissellement et des débits beaucoup plus importants qu'à l'origine. De plus des contraintes additionnelles peuvent être induites par le cours d'eau récepteur qui ne pouvant plus véhiculer sans déborder ces volumes d'eau de ruissellement réagit en submergeant les exutoires d'orage et tel qu'illustré à la figure 3.

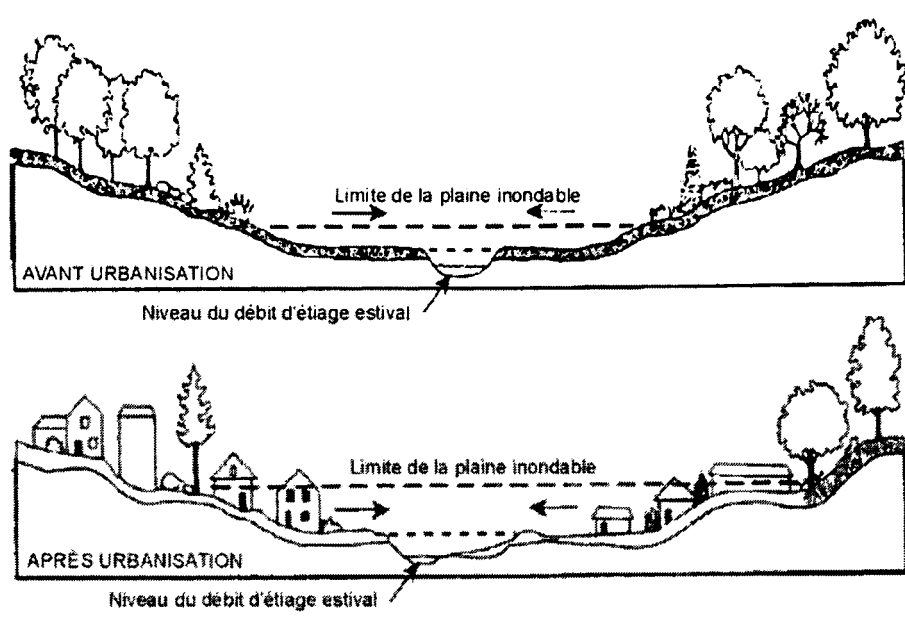


Figure 3 Modification de l'hydrologie causée par l'urbanisation (InfraGuide, 2003)

Ce phénomène peut même générer un rehaussement tel du plan d'eau qu'il provoquera une augmentation de l'étendue de la plaine inondable. Ainsi pour une fréquence d'occurrence de pluie donnée le cours d'eau vient inonder des secteurs qui par le passé n'étaient pas sujets à des inondations aussi fréquentes et ce, face à une pluie d'intensité équivalente.

Cette problématique est particulièrement aiguë lorsque des zones inondables naturelles sont remblayées à des fins de développement urbain. Les remblais réduisent ainsi le volume d'emmagasinement disponible dans ces zones. Souvent la situation est empirée par la réalisation de travaux de drainage sur des terrains localisés en milieux agricoles et qui sont situés en amont de ces milieux urbains. Ces travaux réalisés en vue d'accélérer l'écoulement de l'eau pour favoriser la culture sur les terres agricoles augmentent en amont, les débits de ruissellement qui se déversent en aval à travers ces secteurs urbains vulnérables et qui se retrouvent doublement inondés.

#### **2.1.4 La défaillance environnementale**

La défaillance environnementale la plus commune des réseaux d'assainissement est la pollution des cours d'eau qui survient par suite d'un déversement du trop-plein d'un réseau pluvial, SSO (*Storm Sewer Overflow*) ou du trop-plein d'un réseau combiné CSO (*Combined Sewer Overflow*).

Malgré la présence des stations d'épuration et souvent à l'aval de celles-ci cette pollution urbaine se traduit par des valeurs élevées de coliformes fécaux, de phosphore et d'azote dans l'eau. Encore là ce sont les zones très urbanisées des grandes agglomérations qui montrent les valeurs les plus élevées pour ces paramètres.

Il reste beaucoup à faire à proximité des centres urbains pour réduire la pollution des cours d'eau et si on veut protéger la faune et la flore et pratiquer des activités nautiques impliquant un contact direct avec l'eau.

Certains usages de l'eau n'ont pu encore être récupérés à cause des défaillances des réseaux d'assainissement parce que les réseaux d'égouts d'un très grand nombre de municipalités débordent en temps de pluie. Une pollution résiduelle des effluents de certaines stations d'épuration municipales persiste également.

Il faut aussi mentionner que dans le cas des SSO des raccordements qualifiés de croisés peuvent générer un niveau de contamination bactériologique très élevée à cause de la présence de coliformes fécaux dans les réseaux pluviaux. Cette situation se produit lorsque par exemple un service sanitaire est raccordé par erreur ou de façon illicite sur un égout pluvial. Ces types de défaillances se traduisent par des déversements d'eaux-vannes directement dans les cours d'eau sans traitement.

Une autre forme de défaillance environnementale est l'exfiltration des eaux usées lors de surcharge dans un réseau causant ainsi la pollution des eaux souterraines. Toutefois ce type de défaillance rattaché à l'état physique et structural des ouvrages d'assainissement ne seront pas abordés pour les raisons mentionnées précédemment puisque cette étude ne concerne pas les aspects touchant la réfection des dégradations.

### **2.1.5 Le rendement épuratoire**

L'eau peut être débarrassée de sa pollution physiquement, chimiquement ou microbiologiquement dans des usines de traitement des eaux usées (Brière, 2000). Ce traitement artificiel consiste dans un premier temps à décanter ou précipiter les particules en suspension par un traitement physique ou chimique.

Ce processus est suivi par une dégradation des molécules complexes des matières organiques qui peut aller jusqu'à une minéralisation complète de certaines d'entre elles.

Ces mécanismes peuvent se compliquer en fonction de la variabilité des affluents d'eau brute acheminés à la station. Citons spécialement les débits, la nature et la quantité des matières rejetées, la température pour n'en nommer que quelques-uns.

Cette variabilité et son influence sur le rendement épuratoire à la station sont particulièrement critiques lorsque dans un bassin se trouvent imbriqués des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles. C'est généralement le cas pour les bassins localisés sur le territoire d'une grande agglomération urbaine.

En effet pour les rejets industriels il est préférable de traiter les charges polluantes par nature et de la manière la plus concentrée possible plutôt que de les mélanger. C'est ce qui explique que, pour certains rejets industriels, il n'y a parfois d'autre recours que d'effectuer un prétraitement en usine avant de permettre un rejet en réseau.

Dans les conditions normales le rendement épuratoire d'une station d'épuration, qui soit dit en passant, ne peut pas être conçue pour toutes les combinaisons possibles de rejets, est particulièrement sensible à la dilution. Dans certains cas en temps de pluie, lorsque la capacité des ouvrages est atteinte à cause des défaillances hydrauliques, les rendements globaux des traitements atteignent des valeurs nullement satisfaisantes.

#### **2.1.6 Le coût de pompage et de traitement**

Le coût du pompage et du traitement est également corrélé à la variabilité des débits. En effet il faut pomper et traiter le débit de l'ensemble des affluents à la station pour éliminer les produits nocifs et il faut aussi introduire une grande quantité de réactifs chimiques en proportion du débit à traiter.

Corollairement, les défaillances hydrauliques en temps de pluie à cause de l'augmentation des débits qu'elles produisent affectent les rendements globaux des stations de relèvement à la tête des stations d'épuration et augmentent les coûts de pompage et de traitement.

Pour montrer l'ampleur que peut atteindre une telle problématique il faut citer à titre d'exemple la capacité de pompage de la station d'épuration de la Communauté Métropolitaine de Montréal. Avec ses 2 500 000 m<sup>3</sup> par jour, c'est la station la plus grande en Amérique du Nord. Ce volume est du même ordre de grandeur que le volume intérieur du stade olympique de Montréal. À cause de la concentration de la capacité de traitement à cet endroit environ 44 % de toutes les eaux usées épurées du Québec sont traitées à cette usine. Un tel volume s'explique par une utilisation très élevée de l'eau sur ce territoire à laquelle s'ajoutent la pluie et environ 50 % des neiges usées récupérées par le réseau et les infiltrations excessives ((BAPE, 2000), TRAN54, p. 16).

## **2.2 État de la connaissance**

De nombreux auteurs au cours des dernières années se sont penchés sur la problématique des réseaux d'assainissement et les diverses avenues de solution. Leur recherche pour trouver des solutions susceptibles de remettre en état les conditions structurales, hydrauliques et environnementales de ces réseaux a donné lieu à des développements dans les domaines de l'entretien préventif, de l'auscultation, du diagnostic, de la réhabilitation, de l'instrumentation, du monitoring et de la gestion des réseaux d'assainissement.

De nouveaux paradigmes méthodologiques principalement en dynamique des systèmes et en modélisation et la rapide évolution de la capacité et de la vitesse de traitement des données et de l'information à l'aide des équipements informatiques modernes ont également contribué à rendre plus efficaces ces interventions.

Dans les sections qui suivent diverses avancées dans les domaines de la réhabilitation, des pratiques optimales de gestion des eaux urbaines, de la gestion en temps réel des débordements et des approches méthodologiques seront abordées.

### **2.2.1 Correction des défaillances hydraulique et environnementale**

La solution de la problématique fonctionnelle des réseaux d'assainissement passe par la correction des défaillances hydrauliques et environnementales. Ces dysfonctionnements ont été attribués à l'urbanisation et au vieillissement des réseaux. Ainsi, notre attention portera principalement sur les efforts ayant pour objet la réhabilitation des réseaux d'assainissement et ses instruments de gestion.

Pour réduire les effets de l'urbanisation, il faut mettre en œuvre des pratiques de gestion optimale PGO, appelées aussi BMP (*Best Management Practices*) chez les anglo-saxons. Ces techniques de gestion se traduisent par le recours à des mesures qui ont pour but de réduire les débits et les charges polluantes à la source. Ce but peut être atteint en effectuant de la rétention dans des réservoirs ou sur des toits, par l'infiltration dans des tranchées de percolation ou des lits d'infiltration ou en utilisant des pavages poreux (Baptista et al., 2005).

Quoi qu'il en soit, une des lacunes fondamentales du développement urbain contemporain est le refus des principaux acteurs à considérer les conséquences à long terme sur la façon dont un développement urbain incontrôlé affectera la communauté (Heaney, Wright, Sample, Field, & Fan, 1999).

Il est donc nécessaire que des approches plus globales et systémiques de solution des problématiques urbaines soient mises en œuvre et qu'elles soient combinées avec des systèmes de gestion de l'eau.

Cette affirmation s'appuie sur la nécessaire prise en compte de la gestion de l'eau dans les phases d'avant-projet touchant le développement urbain. Ce qui est aujourd'hui rendu possible grâce à la maturité des techniques de contrôle à la source et aux efforts significatifs qui ont permis une organisation plus objective des données touchant la qualité de l'eau et l'amélioration de l'efficacité des équipements (Chocat, Desbordes, & Brelot, 2005).

En citant un article de Brombach *et al.*(2004), Chocat mentionne également que le débat entourant le choix du recours à des réseaux séparés au lieu des réseaux combinés est désormais rouvert.

Il affirme qu'il y aurait un consensus de différents experts à l'effet que la meilleure solution pour desservir un secteur donné serait vraisemblablement, d'avoir recours à un réseau combiné en réduisant le plus possible les connections et les apports d'eaux pluviales à ce type de réseau (Chocat et al., 2005).

Cette affirmation ouvre la porte à une restructuration de l'approche classique de conception de ces réseaux et de leurs géométries pour corriger les défaillances hydrauliques et environnementales.

Les méthodes de gestion en temps réel des débordements connaissent également un regain de popularité. En effet, elles permettent de plus en plus d'intégrer des considérations touchant la protection des milieux récepteurs en temps de pluies, grâce aux avancées technologiques qui permettent d'avoir recours à des équipements plus fiables et efficaces (Manfred Schutze, Campisano, Colas, Schilling, & Vanrolleghem, 2004).



### 2.2.2 Réhabilitation hydraulique des réseaux d'assainissement

Il y a défaillance hydraulique lorsque le réseau ne peut pas ou n'est plus en mesure d'évacuer à surface libre les eaux qui s'y déversent. C'est donc à ce niveau qu'il faut intervenir pour pallier la mise en charge des réseaux, les refoulements, les inondations et les fuites excessives ainsi que les instabilités hydrauliques. Il faut donc empêcher le rehaussement de la ligne piézométrique pour protéger les sous-sols des inondations, tel qu'illustré à la figure 4.

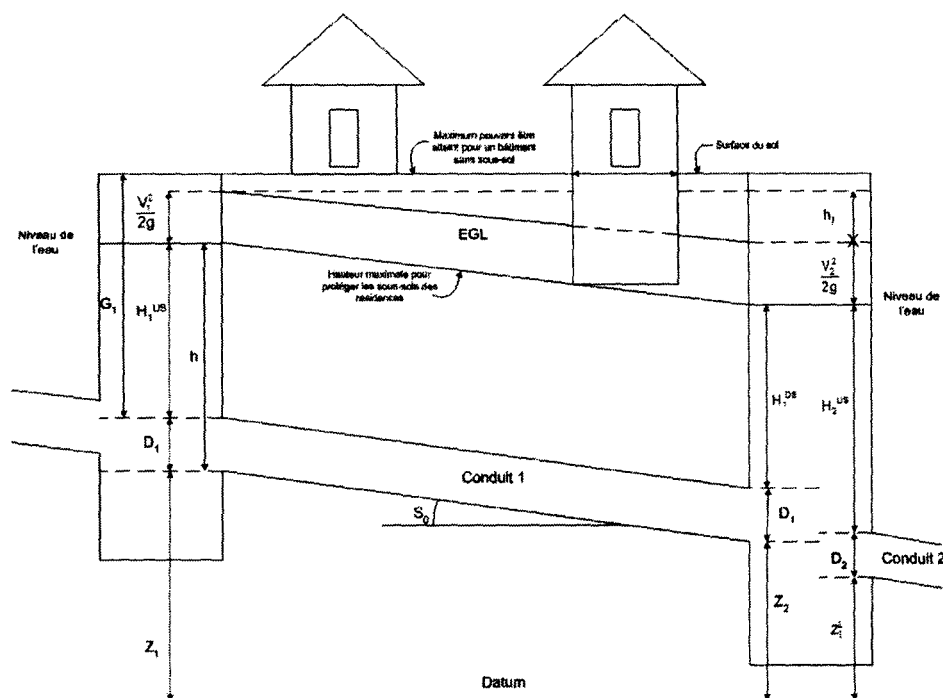


Figure 4 Mise en charge des réseaux (Bennis, 2002)

L'objectif visé par la réhabilitation hydraulique repose sur la fréquence d'occurrence que doit respecter le réseau en écoulement à surface libre et les mesures qui doivent être mises en œuvre pour se prémunir de la mise en charge des réseaux.

Il est raisonnable de considérer que ce niveau de protection est atteint quand la ligne piézométrique se trouve entre 1,6 m à 1,8 m sous le niveau du sol, car les dalles des sous-sols se situent en général à une profondeur avoisinant 1,5 mètre sous le niveau du pavage. Ce critère pourrait malgré tout être modifié, par exemple, dans le cas de bâtiments construits sur une dalle structurale sur le sol. Pour assurer ce niveau de protection, il faut déterminer l'élévation de la ligne piézométrique (ELPC) dans le réseau (Cardoso, 1999).

Pour un écoulement uniforme à surface libre cette ligne est confondue avec la surface libre de l'eau.

$$ELPC = Moyenne( ELPR_{amont}, ELPR_{aval} )$$

avec

$ELPR_{amont}$ , l'élévation maximale de la ligne piézométrique au regard amont;

$ELPR_{aval}$ , celle du regard aval pour un tronçon évalué.

Il peut être utile également de qualifier le niveau de protection offert par un réseau en lui attribuant un indice de performance. Ce critère permet de quantifier la performance hydraulique d'une installation en regard du niveau que doit atteindre la ligne piézométrique dans chacun de ses tronçons. La performance est considérée optimale lorsque le réseau est en mesure d'évacuer à surface libre les eaux qui s'y déversent. Ainsi la performance maximale est atteinte lorsque la conduite est utilisée à sa pleine capacité. On lui attribuerait dans ce cas la cote 1. Lorsque le réseau est sous-utilisé ou surchargé, c'est-à-dire que la ligne piézométrique se situe largement sous les couronnes des conduites ou qu'il coule légèrement en charge, l'indice de performance serait de 2.

La cote augmente progressivement avec le rehaussement du profil pour atteindre le niveau 3 ou 4 lorsqu'il y a risque d'inondation dans les sous-sols et atteint la cote 5 lorsque le réseau déborde en surface. Le tableau II résume cette cotation.

**Tableau II**  
**Critère d'évaluation de la performance hydraulique**

<b>Classification</b>	<b>Implication</b>
5	Ligne piézométrique au dessus du niveau du sol
4	Ligne piézométrique à moins de 1,6 m sous le niveau du sol.
3	Ligne piézométrique entre 1,6 m et 1,8 m sous le niveau du sol.
2	Ligne piézométrique entre le dessus de la couronne et à plus de 1,8 m sous le niveau du sol.  Ligne piézométrique à l'intérieur de la conduite.
1	Ligne piézométrique à la couronne de la conduite.

En fonction de cette cotation la réhabilitation de la performance hydraulique d'un réseau d'assainissement consisterait dans la circonstance à gérer les débits générés par une pluie de récurrence de 5 ou 10 ans selon le cas. Cette gestion serait réalisée de telle sorte que le réseau d'égout obtienne en tous points une cote de 1 et puisse véhiculer à sa pleine capacité et sans surcharge (Ligne piézométrique à la couronne du conduit) le débit généré par cette pluie. À cette fin, il faudra d'une part contrôler tout volume excédentaire susceptible de surcharger le réseau et d'autre part mettre tout en œuvre pour éviter ou tout au moins minimiser toute sous-utilisation du réseau.

### **2.2.3 Réhabilitation environnementale des réseaux d'assainissement**

Il a été établi dans les sections précédentes qu'en fonction des contraintes physiques et économiques inhérentes aux réseaux d'assainissement il est impensable d'acheminer la totalité du volume des eaux unitaires générée en temps de pluie à une station d'épuration.

En effet les réseaux d'intercepteurs et les stations d'épuration sont généralement conçus pour traiter de 2 à 10 fois le débit de temps sec alors que le ruissellement en temps de pluie peut atteindre près d'une centaine de fois ce débit.

Dans ces conditions en temps de pluie un certain surplus des eaux unitaires sera obligatoirement déversé sans traitement dans les cours d'eau par le biais des déversoirs d'orage.

Cette problématique de déversements en temps de pluie n'est pas unique au Québec. Pour cette raison dans divers pays il existe plusieurs législations qui formulent des restrictions de rejet en fonction des usages et de la vulnérabilité du milieu récepteur et ciblent une réhabilitation environnementale des réseaux d'assainissement.

Aux États-Unis, l'USEPA (*The United States Environmental Protection Agency*) a mis de l'avant deux initiatives ayant pour cible le contrôle des eaux d'orage dans les zones urbaines (Roesner & Traina, 1994).

La première initiative visait à entreprendre la phase finale du développement de la réglementation touchant les réseaux séparatifs. Publiée au cours des années 90 cette loi impose à toute agglomération dont la population dépasse 100,000 personnes la demande d'un permis de déversement des eaux pluviales selon le protocole NPDES (*National Pollutant Discharge Elimination System*).

Le processus d'obtention du permis doit inclure, entre autres, un plan de réduction des charges polluantes jusqu'à « une quantité maximale faisable ».

La deuxième initiative est la publication en janvier 1993 d'une politique qui concerne la régulation des débordements des réseaux combinés. Cette initiative réaffirme la stratégie de contrôle adoptée par l'USEPA en 1989, qui impose :

- qu'aucun débordement ne soit toléré en temps sec;
- qu'il faut utiliser au mieux la technologie et les moyens disponibles pour épurer les eaux combinées selon les exigences du CWA (Clean Water Act);
- qu'il faut minimiser les impacts des débordements des réseaux unitaires sur la santé de l'homme et l'environnement.

La réglementation de 1993 va par contre au-delà de la stratégie de 1989 en spécifiant des lignes directrices pour contrôler les débordements des réseaux combinés. C'est-à-dire de caractériser précisément les effluents des eaux combinées pour implanter neuf contrôles minimaux et pour développer une politique à long terme de contrôle des débordements des réseaux combinés.

Le plan de contrôle à long terme défini par cette politique offre aux municipalités le choix entre une approche de présomption qui fixe la fréquence admissible de débordements (4 à 6/année) et une approche de démonstration consistant à prouver qu'un mode de contrôle donné répond aux critères du CWA (*Clean Water Act*). Les neuf points minimaux de contrôle selon cette réglementation sont :

1. d'instaurer un programme régulier d'entretien, de maintenance et d'opération du réseau et des points de débordement;
2. effectuer un usage maximal du système de collecte pour le stockage;
3. réviser et modifier les programmes de pré-traitement pour minimiser l'impact des débordements;
4. maximiser les volumes acheminés aux stations d'épuration;
5. n'autoriser aucun débordement en temps sec;
6. contrôler les matériaux solides et les flottants dans les rejets;
7. programmer la réduction de la pollution à la source;
8. informer le public sur les fréquences et les impacts des débordements;
9. caractériser les effluents pour le suivi des impacts des déversements et l'efficacité des interventions.

En Europe une directive adoptée le 21 mai 1991 oblige les États membres à collecter et traiter avant l'an 2005 les eaux usées des agglomérations de plus de 2000 équivalent habitants. Elle impose aussi de respecter 95 % du temps dans une année les normes de rejet en temps de pluie.

La mise en application de cette directive diffère selon les pays. Par exemple au Royaume-Uni le Water Research Center (WRC) a défini des normes de rejet avec une fréquence de 95 %. Les Pays-Bas limitent les fréquences des déversements des eaux unitaires. En Allemagne les normes considèrent le rejet total calculé sur l'année, en tenant compte des effluents traités et des débordements unitaires en temps de pluie.

Au Québec, le MDDEP impose une approche de présomption avec un maximum d'un débordement par mois dans les zones d'écoulement continu et un débordement par deux mois dans les zones d'accumulation. Par ailleurs, aucun débordement n'est toléré à moins de 1 km en amont d'une prise d'eau potable ou d'une zone de cueillette de mollusques (Painchaud, 1998).

Ces critères sont qualifiés d'objectifs environnementaux de rejets (OER). L'approche privilégiée par le ministère est ainsi basée sur le contrôle du nombre de débordements au cours d'eau récepteur en temps de pluie. Le Ministère fixe ainsi les fréquences de débordement tolérables en fonction des usages de l'eau et des conditions hydrodynamiques du milieu récepteur.

À cause de l'ampleur des volumes de ruissellement en temps de pluie qu'il faudrait retenir pour se conformer à ces directives la réalisation économique de réservoir de stockage est impossible. Pour être efficace il faudrait n'intercepter que la pollution qui est contenue dans le volume de ruissellement.

C'est alors que la notion de phénomène de premier flot pourrait être très utile. Elle découle du concept selon lequel suite à une pluie le premier lessivage du bassin de drainage et des collecteurs entraîne la plus grande part de la pollution déposée durant la période de temps sec. Autrement dit la charge polluante contenue dans le ruissellement initial juste après le début de la pluie est beaucoup plus grande que celle véhiculée à la fin du ruissellement qui est en général fortement diluée.

Si cette situation est avérée il devient donc attrayant de chercher à réduire la pollution du milieu récepteur en ne traitant que le volume initial de ruissellement qui est le plus pollué (Bennis, H, & F, 2001).

Malheureusement, cette notion de premier flot qui remonte à plusieurs décennies est ambiguë et controversée. Toutefois, des développements récents dans l'analyse de la variation des concentrations de polluants en temps de pluie ont permis de mieux cerner la notion de premier flot (Bennis et al., 2001).

Selon cet auteur le ruissellement en temps de pluie provient presque exclusivement des surfaces imperméables directement drainées. Le lessivage de ces surfaces qui est plus rapide dépend de la densité de la population, de l'activité industrielle, de la topographie, de la nature et l'état des revêtements. La durée de temps sec qui influence directement la masse de pollution accumulée sur le bassin et la durée de la pluie sont aussi deux des paramètres qui font a priori augmenter l'intensité du premier flot. Ainsi, plusieurs chercheurs à travers le monde ont établi des équations physiques et statistiques pour relier l'intensité du premier flot à ces paramètres explicatifs (Bennis et al., 2001).

Aujourd'hui à la suite de ces travaux, la représentation de ce phénomène par un paramètre unique permet de conclure rapidement sur sa présence ou son absence et de comparer facilement plusieurs événements et sites entre eux.

Il serait alors possible de mettre en œuvre des stratégies et des mesures pour la réhabilitation environnementale des réseaux d'assainissement et la réduction d'effluents pollués sur la base de cette donnée.

Selon Bennis, cette notion devrait être indissociable de la stratégie projetée pour contrer la pollution en tenant compte de la vulnérabilité du milieu récepteur. Ainsi il est plus important d'examiner les différentes avenues et possibilités offertes pour mieux protéger le milieu récepteur en fonction des moyens disponibles, une fois le phénomène mis en évidence que de spéculer sur son intensité (Bennis et al., 2001).

#### 2.2.4 Pratiques de gestion optimale des réseaux d'assainissement

En règle générale, les pratiques de gestion optimale des eaux pluviales PGO sont des méthodes de gestion des eaux pluviales qui cherchent à reproduire le plus fidèlement possible les caractéristiques de ruissellement et d'infiltration « naturelle » d'un bassin de drainage à son état non aménagé, telles qu'illustrées à la figure 5.

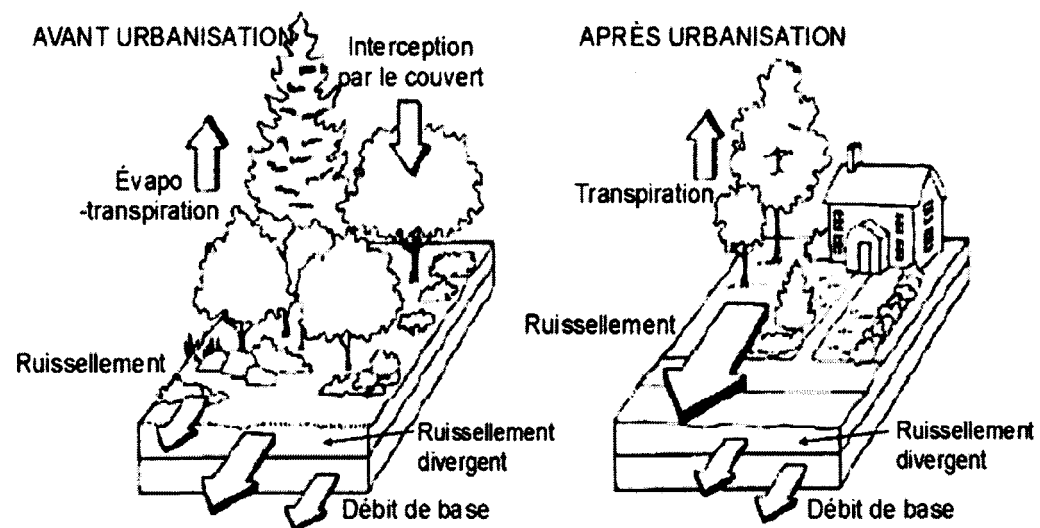


Figure 5 Ruissellement avant et après urbanisation (InfraGuide, 2003)



Elles peuvent ainsi réduire ou prévenir la détérioration de la qualité de l'eau en réduisant les volumes et l'amplitude des débits de pointe ainsi que les concentrations des polluants. Les (PGO) sont donc des approches, des techniques et des méthodes utilisées pour maîtriser le drainage des eaux pluviales dans le but d'atténuer les risques d'inondation et de réduire les polluants. Il faut pour cela avoir recours aux moyens les plus rentables et les plus commodes auxquels les municipalités peuvent recourir d'une façon économique. Les objectifs associés aux PGO sont les suivants :

- écrêter les débits de pointe;
- éliminer les débordements d'égouts;
- retenir la pollution afin de pouvoir la contrôler;
- diminuer l'érosion des cours d'eau récepteurs;
- permettre la recharge de la nappe d'eau souterraine;
- diminuer le coût du traitement des eaux usées pour les systèmes unitaires.

La possibilité de pouvoir écrêter les débits de pointe dans le réseau d'égouts permet ainsi de retarder et de diminuer la valeur du débit maximal; figure 6. Cela entraîne un débit beaucoup plus constant dans le réseau.

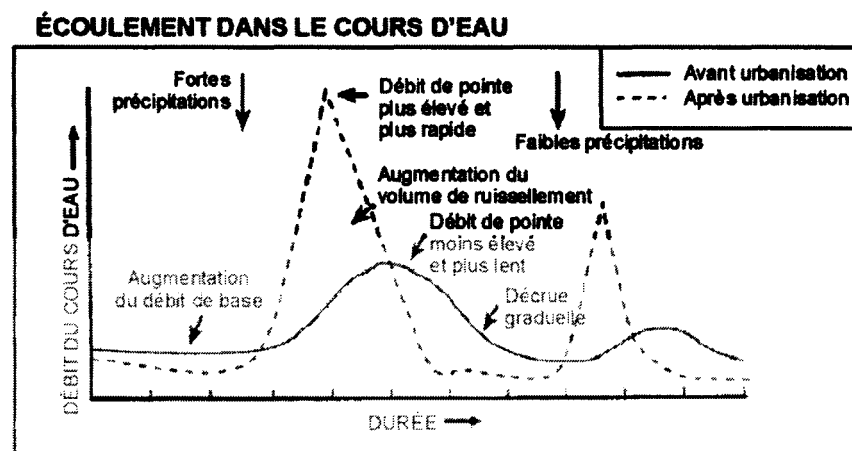


Figure 6 Réduction de l'amplitude des débordements(InfraGuide, 2003)

Les PGO peuvent être pratiquées ;

- à la source (réglementation, surveillance);
- sur le terrain (infiltration, rétention);
- dans le réseau (gestion en temps réel, rétention en ligne).

Chacune des interventions peut être de nature structurale ou non structurale;

- structurale, basée sur un moyen physique (diaphragme);
- non structurale, basée sur des moyens opérationnels.

Les dispositifs antipollution qui ont pour objectif de limiter le ruissellement en cas d'averses ou de réduire la quantité de polluants présente dans les eaux de ruissellement sont qualifiés de PGO non structurales. Les contrôles à la source sont des mesures qui visent à minimiser la production et l'entrée de polluants dans les eaux pluviales de ruissellement. Il s'agit surtout de mesures non structurales ou semi-structurales mises en place à la source ou à proximité de celle-ci.

Les mesures de contrôle sur le terrain (c'est-à-dire au niveau des lots) sont des méthodes qui permettent de réduire le volume des eaux de ruissellement ou de traiter les eaux pluviales avant qu'elles n'atteignent le réseau d'égouts municipal. Les contrôles peuvent être de nature structurale ou non et ils ont lieu sur un lot ou plusieurs qui drainent un bassin de faible superficie. Ces techniques sont ordinairement appliquées sur des lots résidentiels ou de petits lots à usage commercial ou industriel (InfraGuide, 2003).

Cette réduction peut être obtenue par diverses méthodes, comme la dérivation des surplus et la rétention dans des réservoirs artificiels, des lacs, des étangs, des marais ou même sur les toits. On peut également avoir recours à l'infiltration dans des tranchées ou des lits d'infiltration ou encore en utilisant des pavages poreux. La figure 7, extraite du guide sur le contrôle à la source et sur le terrain pour les réseaux de drainage municipaux suggère un organigramme général pour la mise en œuvre de ce type de techniques (InfraGuide, 2003).

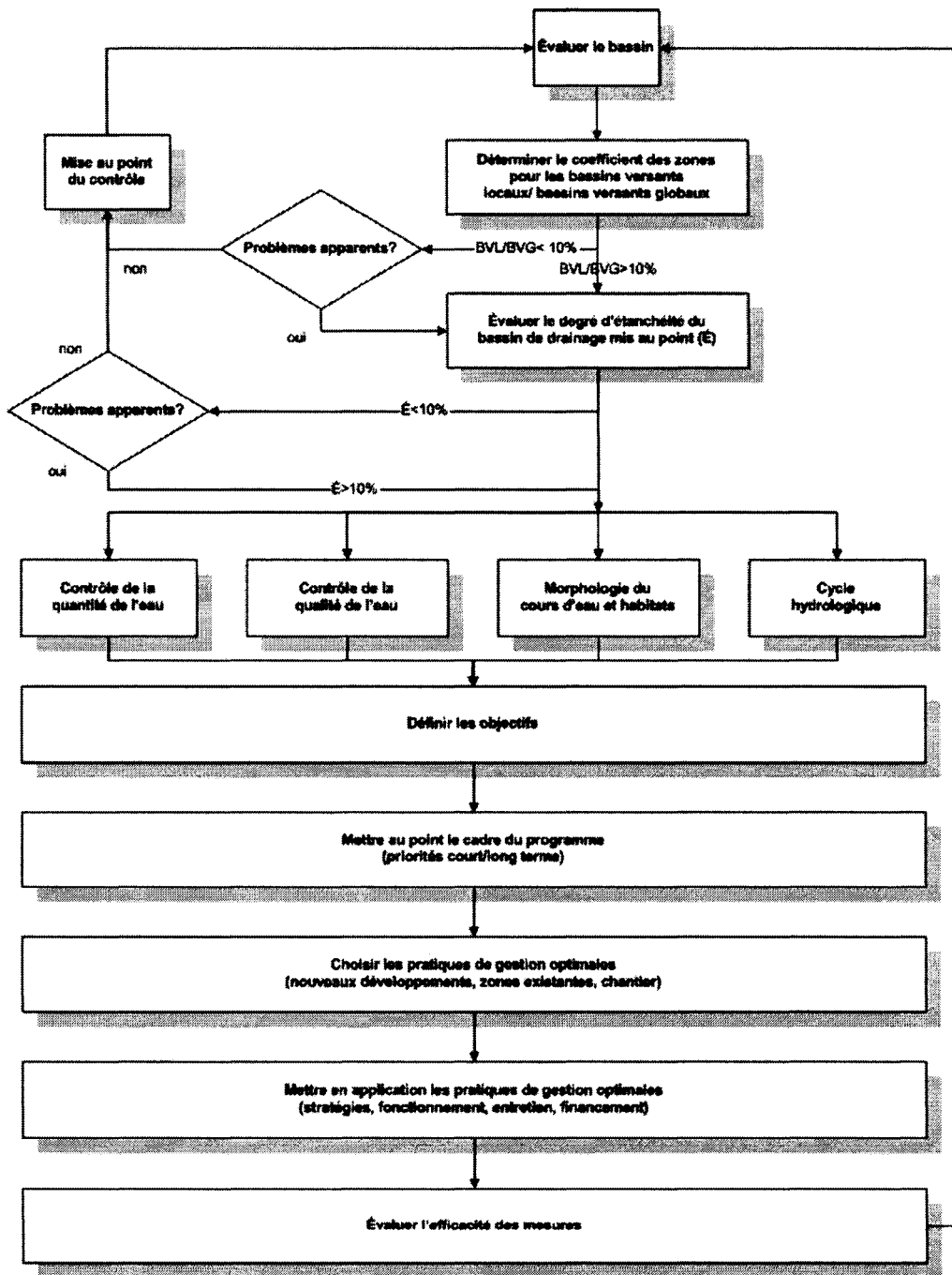


Figure 7 Mise au point d'un plan de gestion des eaux pluviales (InfraGuide, 2003)

Pour leur mise en œuvre il faut prendre en compte plusieurs éléments au moment de choisir les méthodes appropriées. Il faut considérer la pertinence du site, les avantages relatifs à la gestion des eaux pluviales, à l'élimination des polluants ainsi que les prérogatives d'ordre environnemental. Ces approches varient selon la source de pollution, le type de plan ou de cours d'eau récepteur et les objectifs visés en matière de protection contre les inondations.

Le guide national des infrastructures s'est inspiré d'une approche efficace fondée sur le concept de la chaîne de traitement et qui consiste à utiliser un ensemble de procédures de traitement appliquées l'une à la suite de l'autre suivant la séquence suivante (InfraGuide, 2003), (UDFCD, 1992).

- Ruissellement des eaux pluviales.
- Planification de la prévention de la pollution.
- Contrôle à la source.
- Contrôles sur le terrain (au niveau des lots).
- Contrôles au niveau du réseau de drainage.
- Contrôles à la sortie de l'émissaire.
- Plans et cours d'eau récepteurs.

Également selon le guide national des infrastructures le contrôle à la source est le moyen le plus rentable pour réduire les impacts des eaux de ruissellement urbaines.

En règle générale plus on éloigne le traitement de la source de pollution plus les correctifs font appel à des approches structurales très coûteuses rendant ces mesures moins rentables. Il est dans ce cas plus avantageux de prévenir la pollution en adoptant de bonnes habitudes d'entretien et en luttant contre la pollution à la source que de traiter les eaux de ruissellement à l'exutoire du réseau.

La plupart de ces façons de faire peuvent aider à aborder les quatre aspects caractérisant le processus de planification et de prévention de la pollution, à savoir le volume, la qualité, la réduction de l'érosion du cours d'eau et le cycle hydrologique. Elles sont toutefois souvent limitées au contrôle de la qualité et du volume.

Enfin, le recours à de telles techniques doit absolument être appuyé par des activités d'entretien. Il faut, à titre d'exemple pouvoir accéder de façon adéquate aux systèmes qui contrôlent les sédiments de façon à pouvoir enlever ceux-ci périodiquement. Dans le cas des mesures qui utilisent la végétation, il doit en plus y avoir aussi un plan de gestion de la biomasse devant également être supporté par des programmes d'information du public.

#### **2.2.5 Gestion en temps réel des réseaux d'assainissement**

La gestion dynamique des réseaux se présente aujourd'hui comme un moyen efficace pour remédier au problème des débordements ou du moins l'atténuer sensiblement pour permettre ainsi une protection accrue des citoyens et de l'environnement.

Cette gestion dynamique repose sur l'utilisation des nouvelles technologies de l'informations et d'automatisation. La mise en oeuvre de ce type de gestion passe par la conception d'un système d'information approprié et par le choix de technologies de l'information bien adaptées. La gestion de ces réseaux est donc intimement reliée au problème de la gestion de l'information. Celle-ci doit être maîtrisée en tout temps à des fins de coordination instantanée; c'est-à-dire en temps réel RTC (*Real Time Control*).

La gestion en temps réel vise à réduire les risques de débordement et/ou de pollution du milieu naturel en optimisant l'usage du réseau à l'aide d'un système de prise d'informations et un système de régulation automatisée (Kroa, 1993).

Cette approche nécessite des moyens électroniques et automatiques permettant d'acquérir et d'utiliser localement des données à des fins de commandes LRC (*Local Reactive control*). D'autres moyens permettent de centraliser ce contrôle et d'optimiser globalement GOC (*Global Optimal Control*) au fur et à mesure de leurs occurrences les informations découlant des flux et utiles à la régulation (mesure de hauteurs, de débit, de pluie, etc.).

En temps réel ces moyens électroniques permettent d'agir à distance sur les différents organes de contrôle pour utiliser d'une manière optimale la capacité de transport, de stockage et de traitement afin de minimiser les impacts des déversements et des inondations. Il est possible ainsi d'établir une stratégie de commande pour chaque actionneur de vanne de régulation en fonction de la pluie depuis un centre de surveillance informatisé et transmettre ces consignes aux divers équipements.

Le principal problème de ce type d'approche est le risque de dysfonctionnement du système de gestion automatisée. Par exemple, une vanne qui se positionne avec une erreur importante (Rossi, 2000). Cet inconvénient est particulièrement marqué si la représentation des flux et leur anticipation sont erronées.

Les fonctionnalités nécessaires dans un système de gestion en temps réel sont données dans le tableau III (Kroa, 1993).

L'élément de base pour organiser ces nombreuses tâches consiste à minimiser les risques de dysfonctionnement du système de gestion en temps réel. Ainsi, sur la base des fonctionnalités présentées ici, la prévision ou l'anticipation des flux ainsi que la recherche de consignes sont les fonctionnalités qui caractérisent une gestion en temps réel.

Tableau III

## Fonctionnalités nécessaires à la gestion en temps réel

Fonctionnalité	Tâche
Validation d'information	Acquisition de télémesures. Saisie et interprétation des informations. Synthèses des informations issues de différentes sources. Analyse de la cohérence globale des informations.
Prévision ou anticipation des flux	Estimation de l'évolution de la pluie. Estimation prévisionnelle quantitative ou qualitative.
Représentation des flux	Synthèse des informations sur les flux. Estimation quantitative ou qualitative des flux.
Recherche de consignes	Estimation des besoins d'intervention. Affectation des moyens disponibles. Programmation des interventions. Rappel des suites à donner ou des consignes à vérifier. Recherche de nouvelles ressources pour pallier l'insuffisance des moyens mis en œuvre. Recalage des objectifs.
Interface opérateur	Aide au tri des informations. Aide à la préparation et à la présentation des informations du système de décision. Aide à la présentation des résultats de calcul. Aide à l'interprétation des données. Aide à la formulation des problèmes.

Marquez a proposé une structure d'organisation standard permettant de présenter les différents systèmes envisageables selon les fonctions qu'ils peuvent remplir (Marquez 1998). Cette structure fait apparaître 5 niveaux d'organisation, tel que présenté au tableau IV, (Marquez, 1998).

Tableau IV

## Niveau d'organisation d'un système de gestion en temps réel

No niveau	Système	Rôles
Niveau 0	Systèmes d'actionneurs et de capteurs	Mesures et actions par le biais de capteurs et d'actionneurs
Niveau 1	Système d'acquisition et de traitement local	Sécurisation locale à l'aide de régulateurs et d'automates
Niveau 2	Système d'exploitation, de surveillance et de contrôle	Conduite et surveillance de procédé
Niveau 3	Système d'étude et de planification	Études et planification, finalisation de la conduite, modélisation du procédé
Niveau 4	Système de gestion de patrimoine	Gestion analytique, gestion du patrimoine

Les systèmes de niveau 0 permettent l'acquisition de données élémentaires et la possibilité d'agir sur le terrain pour effectuer une commande précise.

Les systèmes de niveau 1 sont caractérisés par des fonctions d'acquisition et de transmission d'informations, de consultation, de paramétrage local et de prétraitement des informations.



Les fonctions d'acquisition permettent de réaliser des actions conjuguées grâce aux informations de bases des automatismes locaux, au contrôle et à la configuration. Les fonctions de consultation offrent à l'opérateur des possibilités d'échanges d'informations. Cet échange peut se faire par une connexion locale au niveau 0 ou à distance par l'intermédiaire d'un réseau.

Les systèmes de niveau 2 sont des systèmes d'exploitation et de commande. À ce niveau parviennent les informations en provenance des sous-systèmes d'acquisition et de traitement local. Le système de gestion centralisé en temps réel situé à ce niveau est caractérisé par plusieurs fonctions; en particulier l'archivage des informations en temps réel, la conduite centralisée et la gestion de contraintes.

C'est au niveau 3 qu'intervient une modélisation du système ainsi que les possibilités d'adapter le comportement d'un réseau en fonction des conditions rencontrées. Les simulations en temps réel des écoulements, à des fins prévisionnelles sont réalisées à ce niveau. Les systèmes intelligents d'aide à la décision (SIAD) s'intègrent aussi à ce niveau.

Finalement, les systèmes de niveau 4 possèdent outre toutes les fonctionnalités des niveaux inférieurs, des possibilités de gestion analytique et de gestion du patrimoine. Un tel système tient compte non seulement du système en opération mais également d'autres systèmes en interaction avec ce dernier. La gestion en temps réel ainsi que la planification des travaux d'entretien à effectuer à long terme sont des tâches possibles à ce niveau. Les systèmes intégrés de gestion des infrastructures urbaines (SIGIU) se situent aussi à ce niveau (Y. Dion, 2000).

Pour maîtriser la conduite en temps réel, il faut donc être en mesure d'intégrer des fonctionnalités qui permettent la mesure sur le terrain, la transmission, l'analyse et l'archivage des données mesurées en différents endroits.

Ces quatre fonctionnalités sont génériques pour tous les systèmes de commande peu importe le niveau du système d'exploitation. Elles sont caractérisées par les quatre éléments suivants; la mesure, la transmission, l'analyse et l'archivage.

La nature des paramètres à mesurer conditionne le choix des équipements et leur localisation. L'entretien et le calibrage de ces appareils sont aussi des éléments importants à considérer. La transmission concerne l'établissement d'une liaison entre un appareil de mesure et un poste distant. Cette liaison peut-être établie par paire de fils torsadés, une fibre optique ou bien avec une liaison sans fil et selon des protocoles particuliers à chacun de ces supports physiques.

L'outil d'analyse doit être capable de générer des alarmes ou des avertissements en cas de problèmes de mesure ou en cas d'événements présentant un certain risque. Cette fonctionnalité doit permettre également de représenter automatiquement des données sous forme de synthèses journalières ou mensuelles. L'archivage enfin vise à mémoriser les informations dans une base de données en vue du traitement de ces données.

Le traitement des données se subdivise en trois parties; la validation des informations, la prévision et l'anticipation des flux et la recherche de consignes. La validation des informations permet de valider les informations issues de différentes sources et d'analyser la cohérence globale de ces informations. La prévision ou l'anticipation des flux assure l'estimation de l'évolution de la pluie basée sur les informations produites par les différentes de mesures. La recherche de consignes vise la mise au point des instructions de fonctionnement pour les différents organes de régulation basées sur un système d'apprentissage.

Pour mettre en œuvre ces fonctionnalités, il faut obligatoirement installer ou déployer un Système de Commande et d'Acquisition de Données Automatique (SCADA).

Dès les années 70 et 80, des SCADA furent mis en opération dans de nombreuses villes américaines et européennes (Schilling, 1989 et Gonwa et Novotny, 1993). À quelques exceptions près une commande réactive locale LRC (*Local Reactive control*) de niveau 1 fut installée (Colas, Pleau, Lamarre, Pelletier, & Lavallée, 2004).

Beaucoup de villes américaines avaient projeté à cette même époque de mettre en application un certain type de contrôle centralisé, mais seulement Seattle a mis en œuvre un système utilisant une stratégie de contrôle optimale centralisée et globale GOC (*Global Optimal Control*) entre 1992 et 1995 (Pleau, Methot, Lebrun, & Colas, 1996).

Tandis que les résultats théoriques étaient extrêmement prometteurs les raisons de ne pas aller de l'avant avec une commande globale ont été longtemps attachées aux risques de dysfonctionnement. La fiabilité des sondes, des actionneurs de vannes, des systèmes de communication, la vitesse informatique limitée des ordinateurs personnels, des automates programmables et l'incapacité des systèmes de commande à réagir aux situations d'urgence sont toutes des raisons qui furent évoquées.

Aujourd'hui, l'équipement et des configurations efficaces nécessaires pour la mise en application des technologies de contrôle optimal centralisé et global GOC sont disponibles (M. Schutze, Butler, Beck, & Verworn, 2002). Les sondes de niveau sont de plus en plus précises et fiables et les débitmètres qui furent développés pour les applications dans les réseaux d'égouts peuvent être achetés actuellement à un coût raisonnable.

Un système GOC a depuis été implanté en 1999 pour la Communauté Urbaine de Québec CUQ. Il est en opération depuis trois ans. Ce même système vient d'être mis en opération sur le territoire de la communauté métropolitaine de Montréal.

Selon Pleau (2005), la mise en opération de ce système est une étape importante vers l'accomplissement d'une approche de gestion urbaine intégrée de l'eau, puisque ces développements tiennent compte des paramètres de l'écoulement dans la partie commandée du réseau d'égouts, de la capacité variable de traitement de la station de traitement et de la capacité hydraulique du cours d'eau récepteur (Pleau, Colas, Lavallée, Pelletier, & Bonin, 2005).

Ces développements récents concernant l'optimisation d'une commande centralisée et considérant la gestion en temps réel des débordements sont significatifs. Toutefois ils n'ont rapport qu'à l'optimisation quantitative du processus. L'élément qualitatif n'est pas pris en compte ni maîtrisé à cause des difficultés liées à la mesure de certains paramètres concernant la qualité de l'eau (Y. Dion, Bennis, S. Langevin, P., 2005).

L'optimisation qualitative constitue donc un véritable défi car il est encore très complexe d'estimer les polluants présents dans les eaux. L'échantillonnage est très difficile à mettre en œuvre il n'est souvent pas représentatif et coûte très cher. La problématique de la conduite d'un réseau d'assainissement en temps réel est indissociable de cette difficulté. Grâce à l'évolution rapide et l'avènement de nouvelles technologies de l'information plus performantes et plus économiques des solutions novatrices pour la mesure, le contrôle d'un point du réseau et la mesure en continu des polluants sont aujourd'hui disponibles. Ces mesures permettront à l'avenir une gestion dynamique basée non seulement sur les débits mais également sur la qualité de l'eau (Rossi, 2001).

#### **2.2.6 Urbistique et réseaux d'assainissements**

L'objectif général d'optimisation des réseaux urbains et de réduction de la pollution des cours d'eau a ouvert la voie à l'utilisation d'approches plus globales et holistiques de gestion des eaux urbaines pour concevoir et opérer les réseaux de collectes et de traitement (Hernebring, Jonsson, Thoren, & Moller, 2002).

Un sondage international sur la gestion des eaux d'orage réalisé par IWA a démontré un intérêt généralisé et une indication claire de l'acceptation de ce type de philosophie pour promouvoir une gestion durable des systèmes d'assainissement urbains SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems), (J. Marsalek & Chocat, 2002).

Cette approche met l'emphase sur la nécessité de mettre fin aux méthodes plus traditionnelles de construction des réseaux (tout tuyau). Elle vise à les substituer par des infrastructures plus vertes et le recours à des approches plus souples. Ces approches doivent intégrer des considérations de contrôle à la source, de monitoring, d'entretien ou de réhabilitation et de suivi. Ces considérations impliquent non seulement la mobilisation des gestionnaires urbains mais également des décideurs publics, la participation des secteurs privés et du public en général (J. Marsalek & Chocat, 2002).

Des travaux importants en analyse systémique depuis le début des années 40 furent à l'origine de l'émergence d'une approche de plus en plus utilisée pour résoudre les concepts holistiques de la dynamique des systèmes (Storelli, Dion, & Claivaz, 1999).

La systémique est cette théorie générale et transdisciplinaire qui étudie les systèmes en tant qu'ensembles d'éléments matériels ou non en relation les uns avec les autres et formant un tout.

Elle fait appel aux notions de flux, d'états, d'interactions et de rétroactions et aux propriétés des systèmes non linéaires, déterministes, stochastiques et chaotiques. Son caractère générique et le fait qu'elle intègre la modélisation dans sa méthodologie de compréhension et d'aide à la décision rendent son usage de plus en plus répandu dans les milieux scientifiques spécifiquement en météorologie, en biologie, en économie et en sociologie pour n'en nommer que quelques uns.

En écologie, qui est la science qui étudie les rapports des êtres vivants avec leur milieu naturel, l'utilisation d'une approche systémique est qualifiée d'approche écosystémique. L'approche écosystémique contrairement à ce qui est généralement perçu ne se limite pas à l'étude des écosystèmes aquatiques. Elle constitue une de ces approches dites «holistiques» utilisées largement dans un contexte de gestion durable des ressources naturelles. Le concept fondamental d'une approche écosystémique s'appuie sur le principe que tous les éléments d'un écosystème (physiques, chimiques et biologiques) sont interdépendants. Ainsi les ressources doivent être gérées comme des systèmes dynamiques et intégrés plutôt que comme des éléments indépendants et distincts.

Cette gestion suppose que tous les intervenants doivent comprendre les conséquences de leurs gestes sur la durabilité des écosystèmes. Ainsi, la nature dynamique et complexe des écosystèmes fait en sorte que l'approche écosystémique doit être souple et adaptable. La complexité des problèmes et des enjeux soulevés dans un écosystème ne peut être abordé que par la prise en compte des préoccupations scientifiques, sociales et économiques.

Dans un tel cadre, la recherche, la planification, la communication et la gestion environnementale doivent devenir encore plus interdisciplinaires. Une attention prioritaire doit être accordée aux interrelations des différents éléments d'un écosystème, pour favoriser la gestion intégrée de ces éléments.

L'accent doit être mis sur ce qui est à long terme ou à grande échelle, si on désire adopter une stratégie davantage orientée vers «l'anticipation et la prévention» plutôt que la méthode la plus courante de «réaction et correction».

Le rôle de la culture, des valeurs et des systèmes socio-économiques est ainsi pris en compte dans les questions de gestion de l'environnement et des ressources.

L'approche écosystémique offre ici un mécanisme permettant d'intégrer les sciences et la gestion (Burton, 2001; Canada, 1996).

Dans les directives européennes, l'établissement d'un cadre pour l'élaboration d'une politique communautaire inclut aussi une référence directe à l'approche écosystémique (Burton, 2001; CE, 2000). Selon cette directive, il est nécessaire d'intégrer davantage la protection et la gestion écologiquement viable des eaux dans les autres politiques communautaires, telles que celle de l'énergie, celle du transport, la politique agricole, celle de la pêche, la politique régionale et celle du tourisme.

Ce fait illustre que l'adoption des principes de gestion écosystémique des milieux de vie est maintenant une préoccupation à l'échelle internationale. La gestion durable des ressources doit donc faire face à la complexité des systèmes eux-mêmes. Les approches réductionnistes et simplistes ne pourront plus y parvenir.

Dans les rapports que l'homme entretient avec son milieu de vie, le phénomène de l'urbanisation et la pollution qui en résultent, s'édifient de plus en plus comme la matérialisation d'une perturbation de l'homme sur son environnement.

Longtemps perçu comme un signe de progrès ce phénomène est en voie de devenir un problème majeur face à l'afflux des populations rurales vers les villes pour leur survie et à la croissance destructrice et la grande pauvreté qui en résulte.

Aujourd'hui 80% de la population mondiale vit en milieu urbain et met en péril l'équilibre écologique de la planète par une surconsommation des ressources naturelles et par des rejets continus et répétés qui excèdent la capacité d'absorption des milieux naturels récepteurs. Ce phénomène résulte d'un accroissement de la population sur un territoire donné et se manifeste par un étalement spatial ou une densification de l'espace occupé.

Cet espace revêt deux dimensions distinctes; l'une en surface qui constitue le paysage urbain et l'autre souterraine qui comprend les infrastructures qui visent à satisfaire les besoins élémentaires de distribution des ressources et d'évacuation des rejets.

Une infrastructure urbaine suivant l'approche systémique serait qualifiée de système urbain et décrit comme un ouvrage qui offre des services de base à la population d'une ville. Le réseau d'assainissement, qui permet l'évacuation des eaux usées et qui nous intéresse ici tout particulièrement en serait un exemple explicite.

Avec l'émergence de la notion de développement durable et celui de développement durable urbain il est devenu nécessaire de minimiser la surconsommation des matières premières et de l'énergie pour combler les attentes environnementales et avoir une vision plus globale des systèmes urbains.

C'est dans cette perspective de système urbain et d'interactions et de rétroactions qu'est née la notion de gestion coordonnée de la ville grâce aux possibilités offertes par les approches systémiques et l'évolution rapide des technologies de l'information.

Une telle approche est qualifiée d'urbistique. Ce mot est un néologisme qui a été utilisé pour la première fois au CREM, un centre de recherches situé en Suisse et affilié à l'École Polytechnique de Lausanne. Ce centre a effectué de nombreux travaux dans ce domaine au cours des vingt dernières années.

Selon Jean-Marie Pelt, président de l'Institut européen d'écologie, la ville est en effet un écosystème et l'urbistique est une nouvelle science qui applique à la ville des grilles d'analyse et des méthodes jusqu'alors réservées aux milieux naturels, car rien n'empêche de considérer la ville comme l'écosystème de l'homme. L'écologie urbaine serait alors le maintien ou la recherche des équilibres davantage que le seul traitement des nuisances.



Par une utilisation qui se généralise de plus en plus le mot urbistique est en voie de devenir le terme approprié pour qualifier cette approche de systémique appliquée aux réseaux urbains (Revaz & Dion, 2000).

L'urbistique permet une gestion plus globale de la ville en tant que système, c'est donc une approche systémique<sup>1</sup> et même écosystémique appliquée en milieux urbanisés. Elle vise la maîtrise de l'information et de l'organisation à des fins de gestion intelligente ou rationnelle de flux qui parcourent une agglomération urbaine (eau, énergie, personnes, capitaux, déchets). Son schéma fonctionnel est présenté à la figure 8.

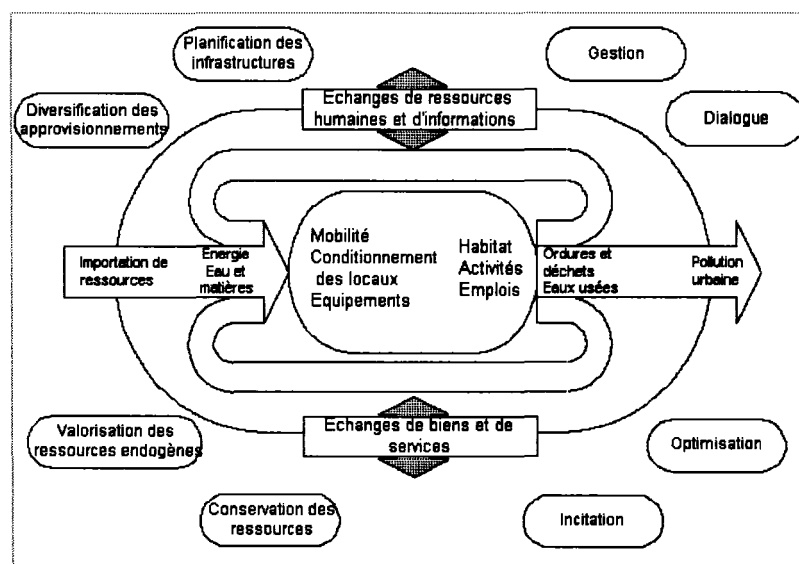


Figure 8 Schéma fonctionnel de l'approche urbistique (Revaz, 2001)

Cette approche d'intégration à l'échelle de la ville se traduit par le développement récent de systèmes intégrés de gestion d'infrastructures (SIGIU) et bénéficie fortement des développements technologiques touchant les systèmes urbains.

<sup>1</sup> Méthode d'analyse et de synthèse prenant en considération l'appartenance à un ensemble et l'interdépendance d'un système avec les autres systèmes de cet ensemble.

Tout particulièrement les dernières avancées technologiques dans les domaines de l'intelligence artificielle, des automatismes, de l'informatique, des télécommunications (TIC), des approches multi agents et agents mobiles (Quintero, Konare, & Pierre, 2005).

L'urbistique - de urbis (la ville) et de systémique - intègre donc une vision plus globale de la ville en tant que système. Le concept insère au cœur de son processus une boucle de rétroaction de l'information qui favorise les échanges de ressources humaines et de biens et services pour maximiser l'utilisation des flux urbains

L'actualisation de ce concept permet de maîtriser et d'organiser l'information requise à des fins de gestion municipale, pour optimiser les flux dans une optique de développement durable.

Ce processus consiste donc à maîtriser des boucles de rétroaction (Feedback) qui permettent d'améliorer tout le processus de la gestion des réseaux urbains au cours de leur cycle de vie à savoir l'acquisition, le traitement, la gestion et la diffusion d'informations donc en fait la maîtrise des flux d'information qui sont au cœur de cette approche.

Cette approche est donc fondée sur le contrôle du respect des niveaux de service et sur l'amélioration des processus.

La figure 9 illustre un modèle type de fonctionnement quant à l'exploitation d'une infrastructure urbaine (Konaré, 2001).

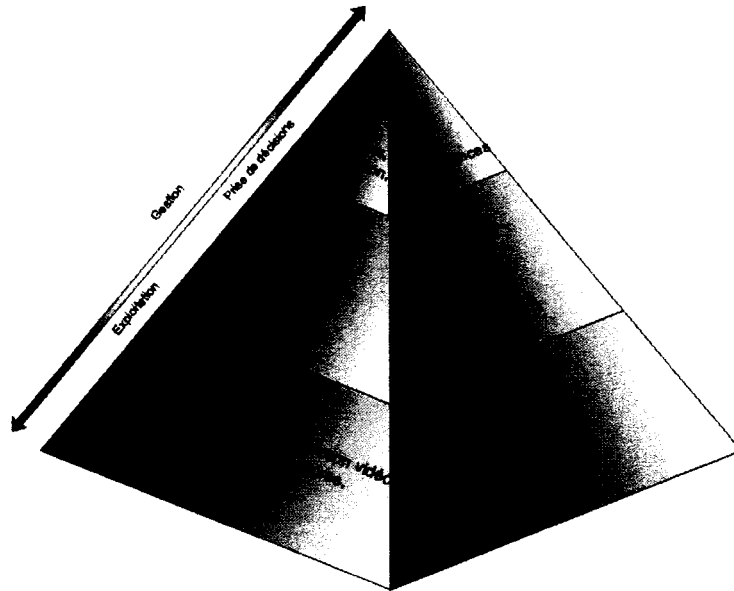


Figure 9 Exploitation d'une infrastructure urbaine (Konaré, 2001)

Selon Konaré (2001) pour gérer un réseau d'assainissement, il convient de définir quels sont les facteurs qui déterminent son état et quelles sont les procédures qui permettent son exploitation. Il faut pour cela connaître les fonctions structurales et hydrauliques et les impacts sur l'environnement.

En milieu urbain la connaissance de l'état et des conditions réelles de fonctionnement des réseaux est donc devenue essentielle à leur opération, leur entretien, leur évaluation et leur réhabilitation. L'importance de cette connaissance est de plus en plus reconnue pour la gestion des risques en milieu urbain.

Les réseaux d'assainissement se détériorent de façon naturelle ou du fait d'actions humaines. La recherche d'une action rationnelle de réhabilitation exige une prise de décision appuyée sur un diagnostic pertinent des ouvrages gérés. Pour les infrastructures publiques, ce diagnostic est à la fois une tâche nécessaire et difficile.

Ce diagnostic tient aussi une place névralgique dans le processus d'aide à la décision devant justifier la mise en œuvre de crédits et de moyens techniques importants aux frais de la collectivité.

L'utilisation systématique des nouvelles technologies de l'information (TIC), du monitoring, de la télémessure et de la télésurveillance sont des outils essentiels à l'approche urbaine. Elles sont de plus en plus utilisées aux étapes de la modélisation, du diagnostic fonctionnel et de la définition du niveau de service acceptable, qui sont toutes des étapes nécessaires aux approches intégrées pour la réhabilitation (Konaré, 2001).

Il est donc essentiel de considérer ces nouveaux paradigmes dans tous les efforts significatifs qui ont pour but d'optimiser les réseaux urbains afin de réduire la pollution des cours d'eau en temps de pluie selon des approches plus globales, holistiques et durables (Field et al., 1997).

### **2.2.7 Monitoring des réseaux**

Selon Temimi et Bennis, il faut maîtriser le fonctionnement hydraulique des réseaux d'assainissement pour protéger les endroits les plus sensibles à la pollution (Temimi & Bennis, 2002). Ces auteurs notent que de plus en plus ce sont des systèmes automatiques qui permettront une gestion dynamique de l'ensemble des ouvrages hydrauliques d'un bassin.

De plus grâce à l'utilisation de nouvelles technologies de l'information plus performantes et plus économiques des solutions novatrices sont disponibles pour la mesure ou le contrôle d'un réseau, bref pour en effectuer le monitoring. À cette fin, il est requis d'avoir recours à de nombreux équipements couramment utilisés en instrumentation et pour le contrôle de procédés industriels.

Le monitoring assure le suivi continu des phénomènes en certains endroits identifiés d'un réseau pour détecter rapidement des anomalies, repérer des fuites et identifier des prestations inutiles. Il est possible d'y intégrer des systèmes experts où l'expérience du personnel est encore mieux valorisée.

Le monitoring d'un réseau permet en continu de détecter tout dépassement de seuil et d'avertir les gestionnaires. Ce suivi en continu permet donc de prévenir les risques en décelant assez tôt une tendance à un dysfonctionnement. Le monitoring permet dans ces conditions de mieux comprendre les phénomènes mis en cause pour exploiter plus judicieusement les réseaux. La mesure en continu génère une quantité appréciable de données permettant de déterminer et de prédire le comportement d'un réseau à un instant donné.

De plus en plus de réseaux peuvent aujourd'hui être munis de systèmes de régulation électromagnétiques et de contrôles numériques. Ceux-ci permettent aux exploitants de superviser et de contrôler un procédé à distance. Malgré cela peu de municipalités possèdent un système automatique de mesure ce qui est en soi un handicap à la prise de décision éclairée. Il est donc important de s'attarder à présenter les divers équipements les plus aptes à ce type d'utilisation.

Il est possible de présenter ici à titre d'exemple le système actuellement utilisé pour le contrôle des déversements en temps de pluies à l'échelle des intercepteurs sur le territoire de Montréal. Ce système est montré aux figures 10 et 11.

**LE SYSTÈME CIDL ET SES COMPOSANTS PRINCIPAUX**

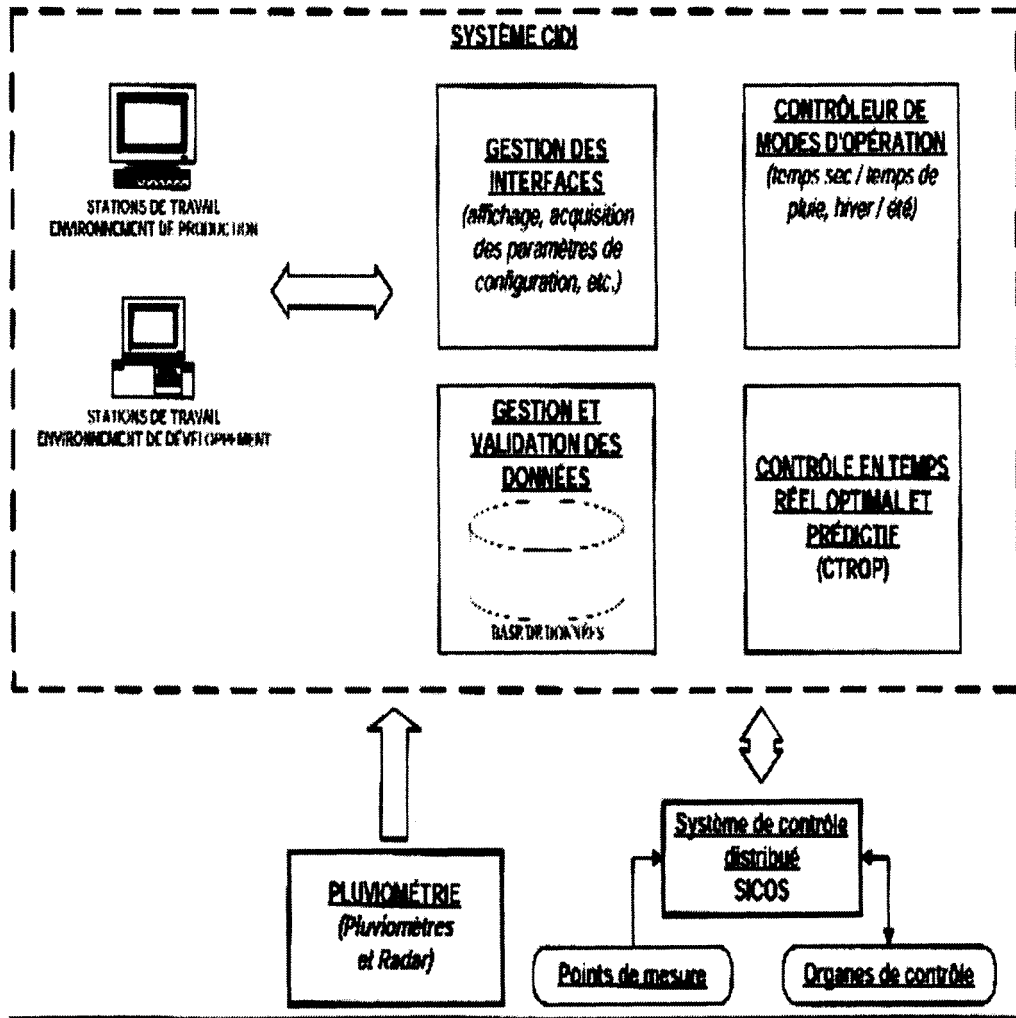


Figure 10 Le système de contrôle intégré des intercepteurs (CMM)

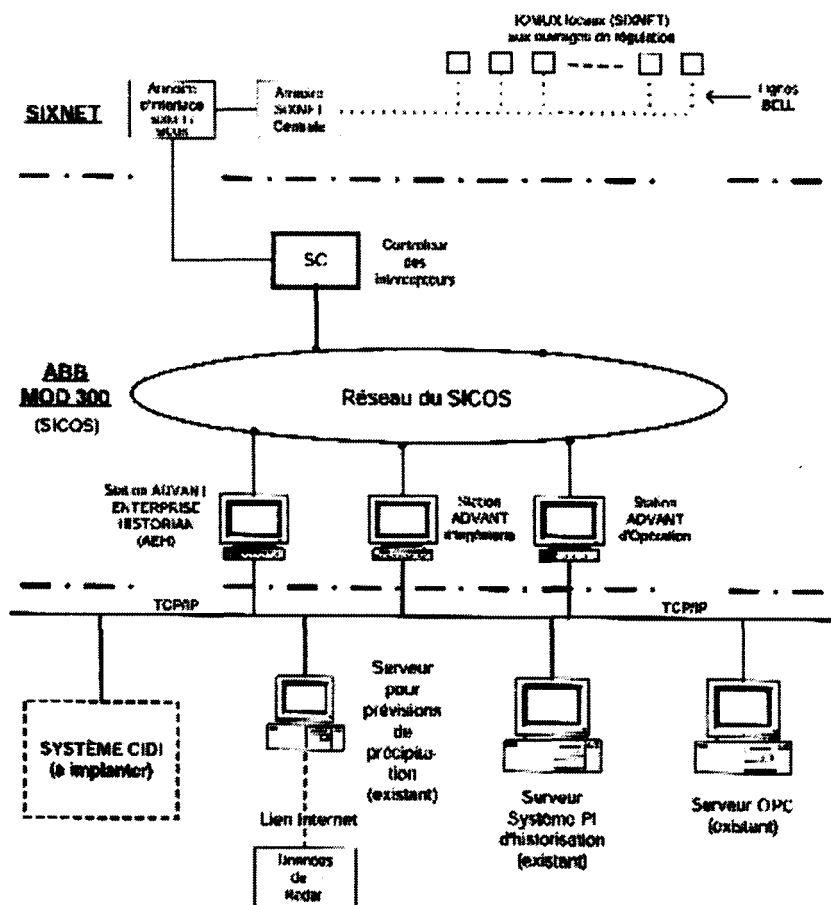


Figure 11 Topologie du système de contrôle des intercepteurs (CMM)

Ce système s'appuie sur des prévisions météorologiques, des mesures de pluie et des mesures de niveau et de vitesse dans le réseau d'intercepteur dans le but de minimiser la fréquence des débordements. À cette fin les opérateurs du réseau ont recours à des mesures par radar et à des pluviomètres. Les pluviomètres sont des équipements qui permettent la mesure en continu de la pluie. L'eau recueillie passe à travers un tamis qui filtre les débris. Elle s'écoule ensuite dans un auget de réception. L'auget se décharge lorsqu'il est rempli ce qui active un interrupteur scellé à lame vibrante.

Cela produit des impulsions qui peuvent être envoyées vers des enregistreurs de données ou d'autres instruments d'acquisition de données. Ces données peuvent par la suite être utilisées à des fins statistiques, de données de conception ou de données dans des modèles hydrologiques. On mesure ainsi l'intensité et la durée de la pluie qui sont exprimées généralement en mm/h et en heures.

Pour les mesures de niveaux des sondes piézoélectriques sont utilisées qui permettent de transmettre un signal électrique proportionnel à la pression générée pour une hauteur d'eau donnée ce qui permet de quantifier les volumes d'eau à contrôler. Pour les mesures des vitesses qui sont nécessaires à l'établissement des débits on a également recours à des équipements similaires.

Dans tous ces cas le transmetteur est un élément de mesure qui convertit le signal recueilli par le capteur de pression, de vitesse ou autre, en un signal standardisé transmissible par les voies courantes de transmission et dont une des caractéristiques est uniquement fonction de la variable mesurée.

Ces types de transmetteurs électroniques sont qualifiés d'intelligents et sont munis de microprocesseurs. L'utilisation de ces types de transmetteur a débuté dans les années 1980.

Ils sont configurables et réglables à distance dans le confort de la salle de contrôle. L'élaboration des signaux et leur conditionnement sont exécutés à l'aide d'un microprocesseur par des opérations de calcul entre les signaux numériques selon un algorithme défini. Le capteur transducteur du transmetteur transforme ainsi en un signal analogique proportionnel à la variable le signal mesuré par le capteur au sein du réseau.

Ce signal analogique en tension de quelques volts ou en courant de quelques ampères est ensuite converti en signal numérique constitué généralement de mots de 16 bits.



Les tâches du microprocesseur sont ;

- l'élaboration des signaux de sortie conditionnés;
- les communications entre le transmetteur et son terminal de configuration et d'étalonnage;
- le contrôle du système de diagnostic.

Le microprocesseur va élaborer et conditionner les signaux de sortie en temps réel en faisant la comparaison entre le signal en provenance du transducteur et la valeur d'une tension ou d'un courant de référence.

C'est le microprocesseur qui assure la communication entre le terminal et le transmetteur. Le signal alternatif à la sortie du transmetteur et du terminal est de 4 à 20 mA ou de 0 à 5 volts et il est bidirectionnel. La communication bidirectionnelle entre le transmetteur et le terminal peut s'effectuer de deux façons; localement dans le boîtier des connexions ou à distance grâce à un adaptateur.

Les fonctionnalités imbriquées dans ces systèmes permettent de vérifier l'état des différentes composantes du système électronique, les mémoires, les transducteurs, etc.

Tous ces signaux sont transmis à un poste de commande. À cet endroit, le terminal ou l'interface homme-machine est l'instrument nécessaire pour la commande du procédé, la configuration, l'étalonnage et l'obtention de toutes les informations disponibles.

Dans le cas du système de contrôle des déversements du territoire de la communauté métropolitaine de Montréal ce système de contrôle porte le nom de SICOS. Dans ce type de système il est donc possible d'utiliser un ordinateur pour communiquer avec le transmetteur à travers la liaison de 4 à 20 mA ou des liaisons numériques par l'intermédiaire d'une interface adéquate. Il est donc possible d'effectuer à distance un dialogue entre le terminal et le transmetteur.

Les transmetteurs numériques en temps réel donnent un accès facile à l'information sont très flexibles lorsque utilisés à distance. Ils sont peu coûteux si l'on considère le nombre de tâches qu'ils peuvent accomplir. Ils sont faciles à configurer à étalonner et ils éliminent les bruits de fond lorsque des signaux de sortie sont utilisés. Ils assurent un meilleur temps de réponse et une meilleure précision pour le conditionnement des signaux.

Il faut toutefois noter que la performance d'un transmetteur n'a aucune valeur si sa configuration et son étalonnage ne sont pas réalisés avec soin grâce à des outils de haute qualité. La transmission des informations enfin s'effectue à travers un support physique, les câbles. On utilise également fréquemment les réseaux hertziens ou même des fibres optiques (FO) qui peuvent transmettre des centaines de millions de bits par seconde, sans distorsion ni affaiblissement.

Outre les paramètres quantitatifs qui sont utilisés pour la conduite du SICOS cité ici à titre d'exemple il existe également des systèmes qui permettent de mesurer en continu des paramètres de la qualité de l'eau. Ce type d'analyse en continu remplace de plus en plus dans les industries les échantillonnages ponctuels recueillis afin d'effectuer des analyses en laboratoire.

Ces nouvelles technologies permettent d'analyser en continu avec plus de rapidité, de précision et de signification et d'augmenter la qualité et l'efficacité des données recueillies. Générant donc d'importantes économies de temps, d'énergie et de ressources humaines.

Les analyseurs sont pour la plupart du temps équipés de microprocesseurs qui fournissent des données en continu et qui peuvent être enregistrées. Ces enregistrements permettent d'effectuer des bilans suite à des analyses et des recherches poussées.

Plusieurs facteurs peuvent influencer le choix d'un analyseur en temps continu;

- le prix et le coût de fonctionnement;
- l'entretien requis;
- l'étalonnage automatique;
- la contrainte thermique pression et autre;
- la disponibilité des pièces de rechange;
- la longévité de l'analyseur et celle des capteurs;
- la compatibilité des signaux transmis avec le système de contrôle;
- le temps requis pour les analyses;
- le temps de réaction à la variation des paramètres.

Certains instruments d'analyse peuvent même s'auto calibrer et détecter toute défectuosité avec une de leurs composantes.

Un appareil de type multi paramètres YSI de série 6 de la compagnie ISCO, par exemple, permet de mesurer jusqu'à cinq caractéristiques de l'eau telles que : la température, la turbidité, la salinité, la conductivité et l'oxygène dissous.

Nous décrivons ici quelques paramètres qu'il est possible de mesurer en continu avec des équipements couramment utilisés en automation industrielle.

La turbidité est une mesure de la limpidité des fluides comme le perçoit l'œil humain. La mesure de la turbidité d'un effluent urbain est utilisée en assainissement pour donner l'assurance que cet apport ne viendra pas brouiller l'eau d'un cours d'eau récepteur.

L'unité de mesure de la turbidité est UTN (unité de turbidité néphélométrique). Cette unité correspond à une masse précise d'une substance arbitraire dans un volume défini.

Il existe trois méthodes de mesure de la turbidité à savoir l'absorptiométrie, la néphélométrie et la néphélométrie à diffusion de surface.

L'absorptiométrie consiste à déterminer la turbidité à l'aide de la méthode photométrique qui est utilisée dans la mesure des couleurs. Pour que les résultats de cette méthode soient exacts la couleur de l'eau doit être constante et faible. La turbidité de l'eau est mesurée en continu à l'aide d'une cellule photo-électrique sensible à la lumière transmise après avoir traversé l'échantillon. Cette méthode n'est pas assez précise pour la mesure de faibles turbidités et ne tient pas compte de la perception de l'oeil humain. Selon la nature de la matière (grosseur, densité, indice de réfraction, etc.) une même quantité de matière en suspension peut donner des résultats d'analyse différents.

La néphélométrie peut être utilisée autant pour les faibles que les fortes turbidités. L'intensité de la lumière diffusée est mesurée dans une direction perpendiculaire à celle de la lumière incidente. Cette méthode a une imprécision de l'ordre de 1% à 2% de l'étendue d'échelle et peut aussi convenir aux solutions colorées. Les bulles d'air peuvent fausser les mesures elles sont généralement éliminées par une suite de chicanes munies de purgeurs d'air.

Des turbidimètres à double faisceaux sont utilisés pour obtenir une meilleure précision et linéarité, surtout pour les faibles turbidités. La buée peut aussi fausser les mesures des instruments en se déposant sur la paroi de la cuvette de mesure. Pour contrer ce problème un courant d'air est fourni par une petite soufflante.

La néphélométrie à diffusion de surface est utilisée pour de fortes turbidités. La lumière incidente est diffusée sur la surface de l'échantillon turbide. Cette lumière est réfléchie mais seulement la lumière diffusée est mesurée. Suite à un étalonnage, l'appareil est gradué en UTN. Les turbidimètres peuvent enfin être munis de systèmes d'alarme activés lorsqu'une valeur limite est atteinte.

La température est également un paramètre important à mesurer et à cette fin des thermomètres constitués principalement de deux transducteurs élémentaires sont utilisés. Plusieurs instruments de mesure de la température sont aussi disponibles sur le marché.

Il est possible de mesurer également les matières solides en suspension (MES) par densimétrie. Le terme densité est utilisé pour exprimer la masse de matière en suspension renfermé dans le volume arbitraire d'un échantillon. Les analyseurs en continue de MES les plus communs utilisent la turbidimétrie, les ultrasons, la gammamétrie, la photométrie ou la mesure du couple d'entraînement d'un racleur.

Pour la mesure des MES par turbidimétrie la relation entre la densité des MES et la turbidité découle de la forme et du volume des parcelles en suspension et des propriétés optiques de ces parcelles et de la solution. La mesure de MES par ultrasons permet de déduire qu'il y a une relation directe avec la densité des MES pour des caractéristiques définies de la solution lorsque l'intensité des ultrasons entre l'émetteur et le détecteur est atténué.

L'étalonnage des instruments d'analyse des MES se fait à l'aide d'échantillons analysés en laboratoire. Il est effectué par des méthodes gravimétriques traditionnelles comme la filtration ou la centrifugation d'un volume précis d'échantillon puis par séchage et pesée du résidu. La précision de ces appareils pour la mesure des matières en suspension est de l'ordre de plus ou moins 4% et elle est exprimée en mg/L, en mL/L ou en pourcentage p/p ou V/V.

La masse volumique doit être mesurée en continu lorsqu'il est requis de déterminer le débit massique d'un liquide à partir de son débit volumique. Plusieurs méthodes permettent de mesurer la masse volumique; en mesurant la pression hydrostatique exercée par une colonne d'eau de hauteur constante, en mesurant la poussée d'Archimède ou en pesant un volume constant de liquide.

Pour la mesure de l'oxygène dissous (OD), les instruments qui permettent de capter l'oxygène renfermé dans l'eau sont constitués de cellules électrochimiques, de deux électrodes, d'un électrolyte et d'une membrane sélective imperméable aux gaz. Plusieurs types de cellules sont disponibles mais celles qui sont utilisées les plus fréquemment sont les cellules galvaniques et les cellules polarographiques. Les activités biologiques peuvent être suivies à l'aide de ce type d'analyseurs. Ces analyseurs sont aussi en mesure de déterminer les phases de consommation d'oxygène par les micro-organismes. La consommation va correspondre à la demande biochimique d'oxygène DBO de l'échantillon ou même celle de la demande chimique en oxygène DCO.

La méthode du respiromètre permet par exemple de prélever un échantillon toute les demi-heures. Si l'instrument d'analyse prélève de 8 à 10 échantillons de suite en 4 à 5 heures il sera possible de trouver de façon approximative la DBO<sub>5</sub>. Ce qui représente la demande biochimique en oxygène sur cinq jours. Plusieurs facteurs influencent la performance environnementale d'un réseau. Le contrôle en temps réel des déversements unitaires à l'aide de systèmes de mesures en continu de la qualité de l'eau est un atout pour l'opérateur d'un réseau parce qu'ils permettent de limiter les volumes d'eau unitaires déversés dans le bassin récepteur pour ainsi avoir un meilleur contrôle sur les charges ou concentration déversées.

### **2.2.8 Réhabilitation, reconstruction ou restructuration**

Suivant la démarche classique de réhabilitation et principalement au niveau de l'identification de solutions efficaces et économiques, les solutions qui ciblent la correction des défaillances hydrauliques et environnementales sont la réhabilitation ou le remplacement. Il est évident cependant à la lumière des éléments présentés dans les sections précédentes que l'alternative à la réhabilitation n'est pas obligatoirement le remplacement pur et simple du réseau ou sa reconstruction complète.

La raison pour laquelle la démarche classique de réhabilitation se limite souvent à ces deux alternatives c'est que cette démarche concerne principalement les dysfonctions structurales en vue du choix d'une technique de réfection. Il est clair que, dans un tel contexte si un ouvrage ne peut être réhabilité il doit être remplacé. Rappelons cependant que les défaillances hydrauliques ou environnementales des réseaux d'assainissement se manifestent lorsque d'un point de vue fonctionnel, il n'est plus possible d'évacuer d'une façon convenable les eaux usées générées par l'urbanisation sur un bassin versant.

Pour remédier à ce type de déficience on ne peut se limiter à une analyse à l'échelle des conduits mais on doit l'élargir à celle du réseau. La conséquence de ce changement d'échelle permet d'entrevoir toute une série d'alternatives de solution pour redonner à un réseau d'assainissement désuet ses pleines fonctionnalités et donc de le réhabiliter. Dans cet ordre d'idées les pratiques de gestion optimales des eaux pluviales (PGO) qui sont des approches, des techniques et des méthodes pour réduire les risques d'inondation et de pollution peuvent ainsi être admises comme des techniques de réhabilitation.

La gestion dynamique en temps réel (GTR) des réseaux qui se présente aujourd'hui comme un moyen efficace pour corriger le problème des débordements par l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et d'automatisation peut être considérée elle aussi comme une technique de réhabilitation. L'urbistique qui permet une gestion plus globale de la ville par une approche écosystémique donne aussi un cadre nouveau pour appréhender la problématique de la réhabilitation d'une façon plus holistique.

Enfin les avancées technologiques récentes en informatique, en métrologie et en monitoring environnemental ouvrent la porte à la réhabilitation des réseaux par une restructuration de ceux-ci. La restructuration des réseaux devient alors une alternative envisageable pour suppléer aux méthodes plus traditionnelles de construction. Ainsi les infrastructures aujourd'hui désuètes pourront être substituées par des infrastructures plus versatiles qui intégreront des fonctionnalités de contrôle et de monitoring.

## **CHAPITRE 3**

### **APPROCHE UTILISÉE**

#### **3.1 Objectifs de la recherche**

L'objectif du projet de recherche est de développer une approche méthodologique pour diminuer le risque d'inondation et réduire la fréquence des débordements dans le milieu naturel. Cette approche méthodologique sera illustrée à travers une étude d'un projet d'envergure qui est celui du quartier centre-ville de l'arrondissement Verdun de la ville de Montréal, communément appelé le bassin hydrographique Rhéaume.

#### **3.2 Méthodologie**

La méthodologie employée se divise en quatre étapes distinctes:

- faire un diagnostic pour déterminer les sources du problème;
- définir les performances hydrauliques et environnementales visées;
- évaluer les performances hydrauliques et environnementales actuelles;
- analyser les différentes avenues de solutions pour ramener les niveaux de performance au niveau souhaité.

L'efficacité du concept retenu sera évaluée à la lumière des résultats obtenus au cours de l'étude du cas. Dans les chapitres précédents l'identification des différents types de réseaux d'assainissements, leurs usages et la problématique inhérente à leur exploitation, maintenance et entretien furent abordés. Par la suite, les méthodes actuelles de réhabilitation hydraulique et environnementale furent présentées. Les sections qui suivent aborderont les aspects touchant l'établissement d'un modèle et son analyse en vue de l'élaboration d'avenues de solutions. Mais tout d'abord il faut préciser le cadre général et les fondements théoriques et méthodologiques de cette analyse.



### **3.2.1 Comment connaître l'état fonctionnel des réseaux**

Aux fins de l'analyse des dysfonctions hydraulique et environnementale d'un réseau d'assainissement il importe de se questionner sur plusieurs objectifs tels que :

- respecter les exigences relatives au volume et à la qualité des eaux pluviales;
- respecter les normes relatives à l'alimentation de la nappe d'eau souterraine et au débit de pointe;
- contrôler et diminuer les impacts sur l'habitat aquatique du cours d'eau récepteur;
- utiliser l'aménagement complet du territoire afin de minimiser les contrôles structureaux;
- protéger les zones plus sensibles à l'intérieur ou dans l'environnement immédiat du site;
- identifier les contraintes physiques du territoire;
- estimer l'entretien requis et la rentabilité des techniques et des ouvrages alternatifs;
- évaluer l'acceptabilité sociale et environnementale du système de gestion des eaux pluviales.

Les critères d'appréciation relatifs aux solutions qui seront mises de l'avant sont divisés en cinq classes :

- la qualité de l'eau;
- le potentiel d'érosion;
- le volume d'eau;
- le cycle hydrologique;
- les exigences relatives à l'entretien.

Les critères de la qualité de l'eau se rapportent aux habitats aquatiques, à la charge de polluant, à la température, aux activités de loisirs et à la contamination de la nappe d'eau souterraine (InfraGuide, 2003).

Comme nous l'avons évoqué précédemment en milieu urbain la connaissance de l'état fonctionnel et des conditions réelles de fonctionnement des réseaux est devenue essentielle à leur conduite, leur entretien, leur évaluation et leur réhabilitation. Ce constat milite en faveur de la mise en place d'outils modernes de diagnostic hydraulique et environnemental.

### **3.2.2 Diagnostic hydraulique et environnemental**

Outre les constats de base visibles qui découlent de la présence ou non d'inondations et de déversements de polluants dans l'environnement le diagnostic hydraulique et environnemental est lié à notre capacité de mesurer, de quantifier et de qualifier les phénomènes sous étude. À cette fin il faut avoir recours à une multitude de données fiables, à des modèles susceptibles de reproduire le plus fidèlement possible les comportements. Aujourd'hui pour obtenir ces données des inspections rigoureuses et l'utilisation extensive des nouvelles technologies de mesures, d'auscultation, de monitoring incluant la télémessure et la télésurveillance s'avèrent nécessaires. L'utilisation d'outils informatiques de calcul performants pour le traitement de ces données est la pierre angulaire d'une modélisation adéquate et d'un diagnostic fonctionnel exact et pertinent.

Il faut aussi adopter un cadre méthodologique structuré et tout aussi rigoureux. La figure 12 adaptée par Bennis du guide du WRC propose une méthodologie en neuf étapes. Cette méthodologie vise à partir des données et des inventaires de base sur les réseaux et des résultats d'une analyse de risque à mettre au point un programme d'enquête et d'auscultation. (S. Bennis, 2004).

Ce processus présenté à la figure 13 est utilisé pour évaluer l'intégrité structurale, les débits parasites, les conditions hydrauliques et environnementales et pour la construction de fonctions de performance.

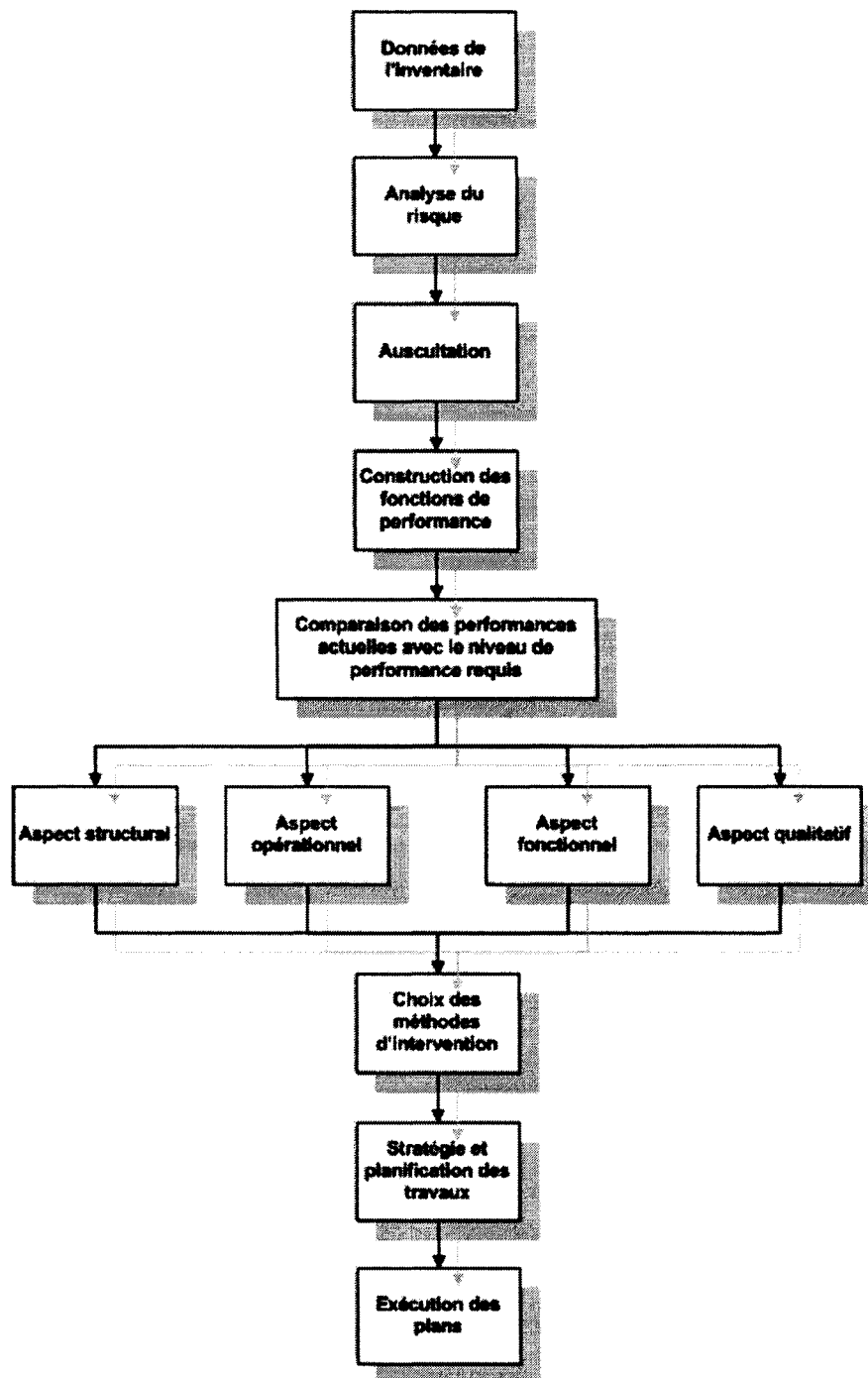


Figure 12 Approche structurée pour la réhabilitation (S. Bennis, 2004)

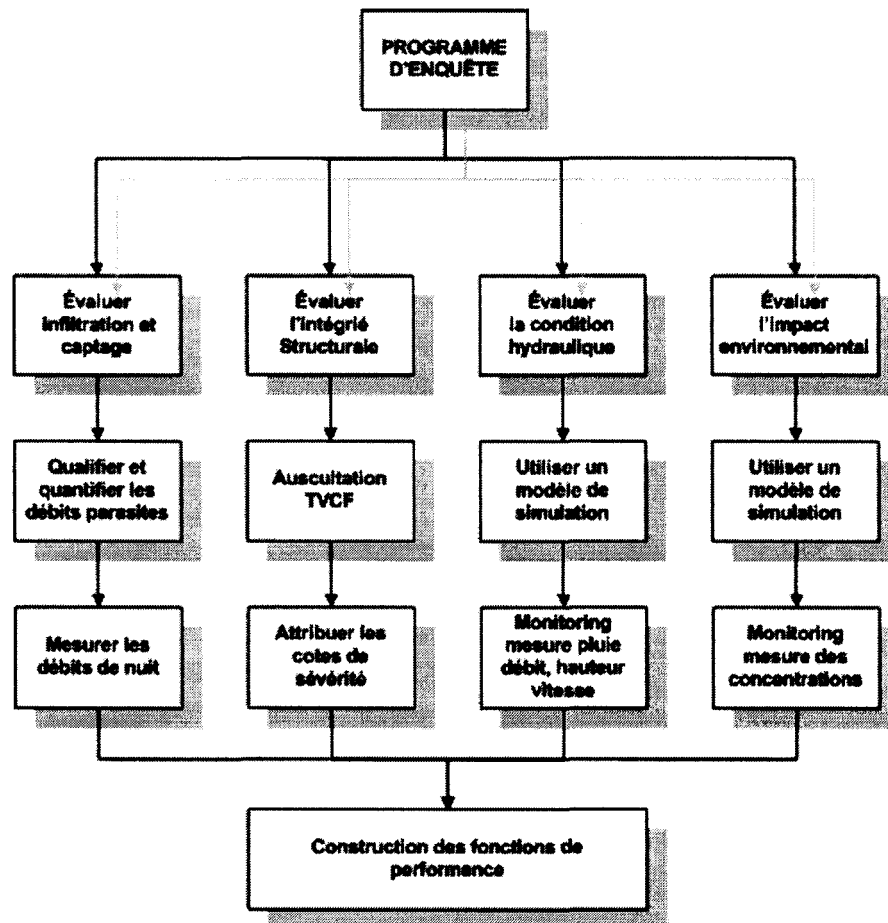


Figure 13 Construction des fonctions de performance (S. Bennis, 2004)

Ces fonctions de performance sont utilisées pour établir les niveaux de performances structurales, opérationnelles, fonctionnelles et qualitatives des réseaux. Ces niveaux sont déterminés à l'aide de modèles alimentés de données supplémentaires provenant de campagnes de mesures sur le terrain ou de systèmes de monitoring continu.

Elles permettent de procéder, à des choix éclairés de méthodes d'intervention à la lumière de ces informations et à l'élaboration d'une stratégie d'intervention. Cette stratégie se concrétise par la mise en œuvre d'un plan de travail détaillé, figure 14.

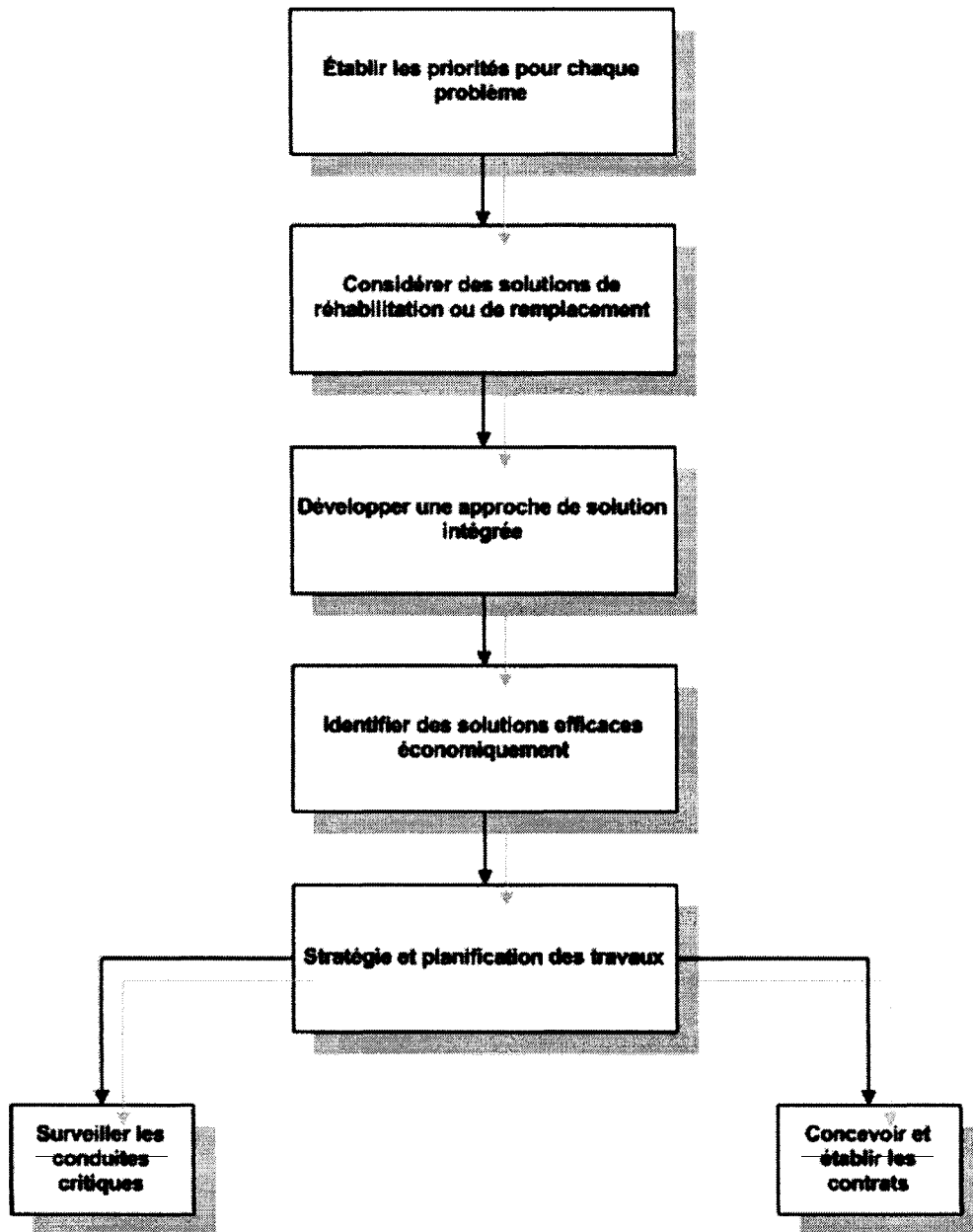


Figure 14 Mise en oeuvre du plan (S. Bennis, 2004)

Ce plan de travail doit tenir compte du niveau de priorité de chaque problème, des diverses alternatives de solution suivant une approche intégrée, pragmatique et économique.

### **3.2.3 Apport de la modélisation**

De nombreuses avancées dans les méthodes de modélisation et l'accessibilité à de l'équipement informatique performant ont permis le développement de logiciels modélisant les précipitations et le phénomène du ruissellement sur les bassins versants. Certains logiciels permettent aussi d'évaluer les polluants transportés par les eaux de ruissellement.

Ces logiciels possèdent un avantage remarquable par rapport à l'utilisation de formules simples ou d'abaques. L'usage d'outils informatisés permet de représenter et comprendre le fonctionnement de situations complexes sans recours à des hypothèses simplificatrices qui nous écartent de la réalité. Il est aussi possible de simuler le fonctionnement du réseau dans son intégralité avec des pluies et débits variables dans le temps. Tous les phénomènes hydrologiques et hydrauliques peuvent être pris en compte et simulés adéquatement. Toutes ces fonctionnalités sont rendues possibles par le fait que la vitesse d'exécution des calculs de conception est beaucoup plus rapide qu'auparavant. Cela permet d'exécuter plusieurs simulations rapidement à partir de différents paramètres de conception et de différentes conditions de bassins versants.

Toutefois tous les logiciels disponibles sur le marché ne peuvent être utilisés sans discernement pour résoudre tous les problèmes. Le choix d'un modèle doit donc prendre en compte la portée et les contraintes techniques du problème que l'on veut résoudre. Ce modèle doit pouvoir tenir compte des différentes composantes du système sous analyse et posséder une capacité de traitement suffisante en fonction du nombre d'éléments constituant le réseau sous étude. Le coût du modèle et des calculs afférents, doivent être également proportionnels à l'envergure de la tâche à accomplir. D'autres considérations peuvent également influencer le choix de l'outil de calcul, comme la disponibilité du modèle, le support technique offert et la souplesse lors de l'utilisation.

Des contraintes techniques interviennent dans le choix de l'outil de calcul dans la mesure où le modèle doit générer des résultats compatibles avec les critères de performance choisis. Par exemple dans le cas précis des réseaux d'assainissement le modèle doit pouvoir prendre en considération les surcharges sur l'ensemble du réseau et être en mesure de solutionner les équations de Saint-Venant.

Le modèle doit de plus considérer les conditions particulières propres au milieu étudié et reproduire les phénomènes hydrologiques et hydrauliques rencontrés en milieu urbain : ruissellement, infiltration et captage.

Par contre il s'avère encore difficile de quantifier les apports par captage et infiltration dans les réseaux sanitaires et pseudo-séparatifs en temps de pluie. Plusieurs approches ont été développées pour estimer ces apports. Elles supposent pour la plupart que des mesures de débit et de pluie sont disponibles afin d'évaluer le comportement hydraulique de ce type de réseaux (Rivard, 1998).

La simulation hydrologique est un moyen efficace pour simuler les débits de ruissellement à l'exutoire d'un bassin versant résultant d'une pluie choisie. Les hydrogrammes ainsi simulés peuvent être utilisés directement pour une ou plusieurs des fins suivantes :

- faire la l'étalonnage de modèles;
- générer la concentration des polluants;
- constituer le fichier intrant au modèle hydraulique;
- faire la conception ou l'évaluation d'un ouvrage d'assainissement;
- générer la redondance analytique pour faire la validation du débit mesuré à l'exutoire d'un bassin;
- faire des bilans des volumes et masses de polluants déversés et leur fréquence;
- faire la prévision des débits et des concentrations de polluants.

Il faudra aux fins de ces évaluations procéder à la modélisation. La modélisation du secteur sous étude est la procédure qui tend à représenter mathématiquement les éléments physiques du réseau.

Cette représentation mathématique sera par la suite utilisée lors de la simulation du comportement du réseau.

Cette procédure peut être divisée en quatre (4) étapes ; la collecte, l'organisation et l'analyse des données nécessaires à l'élaboration du modèle et la préparation du fichier informatique.

Les données nécessaires à la modélisation peuvent être regroupées en trois (3) catégories ; les données caractérisant la pluie, la surface de ruissellement et celles caractérisant les canalisations et les autres équipements que l'on retrouve dans les réseaux d'assainissements, pompes, bassin de rétention, déversoirs pour n'en nommer que quelques-uns.

À titre d'exemple les modèles courants permettant la simulation des phénomènes hydrologiques et hydrauliques rencontrés en milieu urbain. Ils doivent être en mesure de tenir compte de la nature des surfaces et de leur degré de perméabilité dans la production des hydrogrammes de ruissellement et tel que représenté à la figure 15 pour, l'infiltration et le captage.

Également ces modèles doivent permettre de simuler à des fins de design ou d'évaluation le laminage des hydrogrammes et les différents types d'écoulement en réseaux, que ce soit à surface libre ou en charge tel qu'illustré à la figure 16.



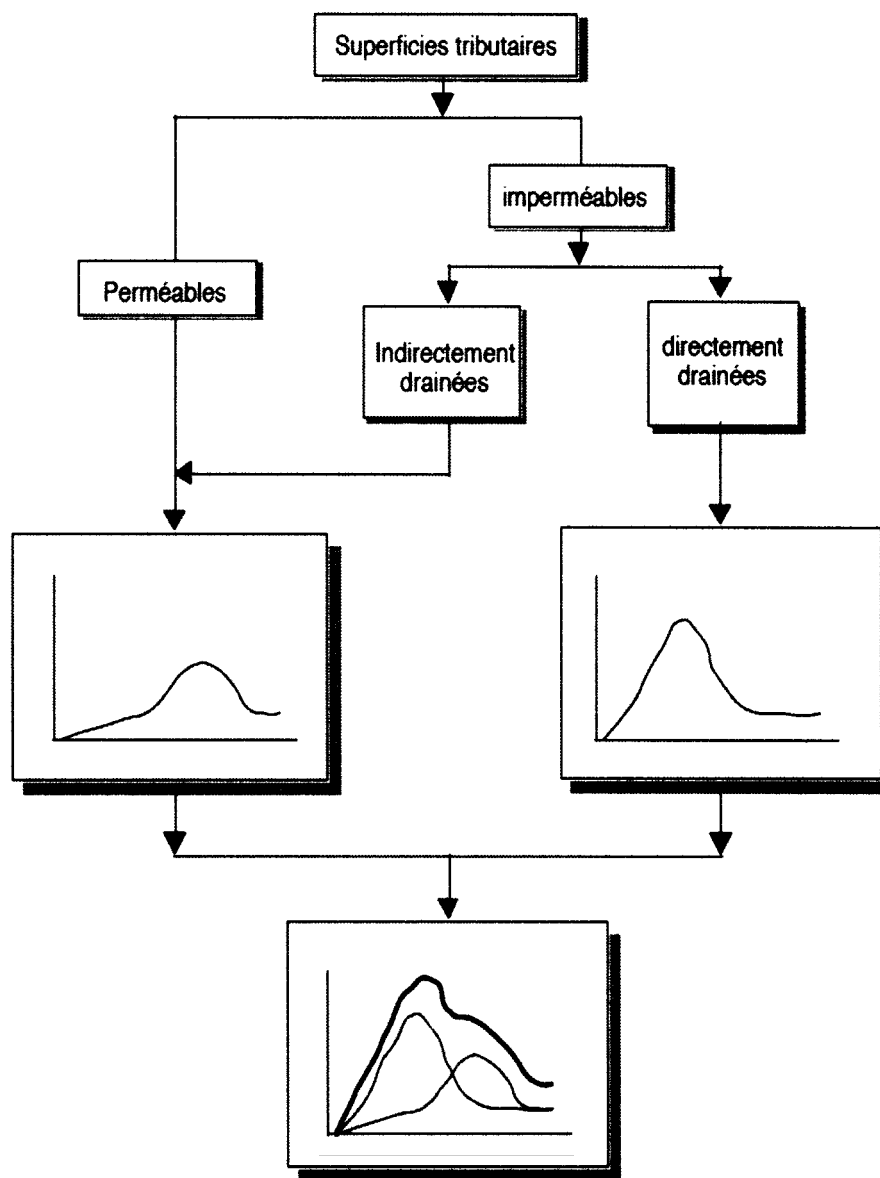


Figure 15 Génération des hydrogrammes

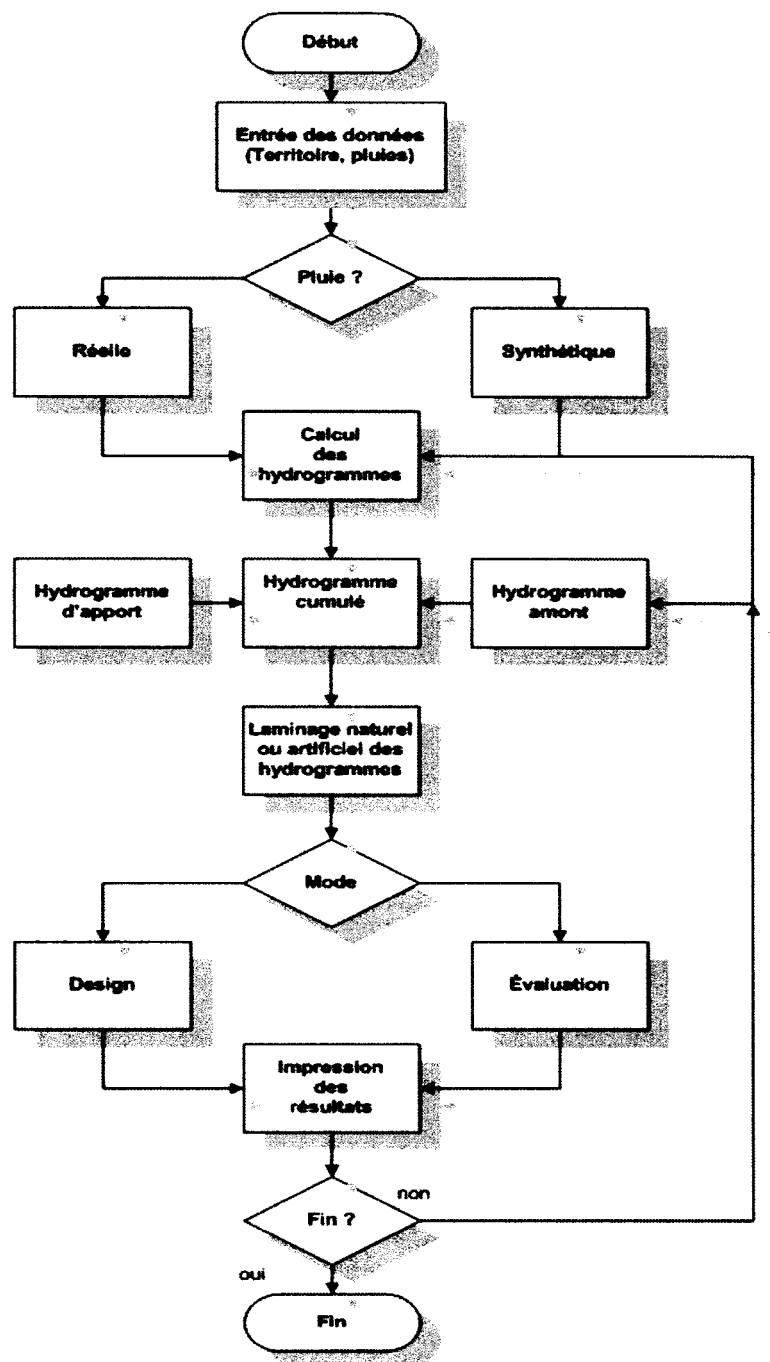


Figure 16 Organigramme fonctionnel des logiciels courants

Rappelons à cette étape que lorsqu'un modèle est utilisé il est essentiel de procéder à son étalonnage à l'aide de mesures prises sur le terrain. Ce processus consiste à ajuster les paramètres d'un modèle de façon à ce que les résultats des simulations s'approchent le plus possible des paramètres mesurés.

Pour faire la validation des mesures ou étalonner un modèle on doit donc réaliser une campagne de mesure. Celle-ci devra coïncider avec les débits simulés à l'aide du modèle hydrologique et fournir ainsi un fichier des débits mesurés. Cette comparaison est effectuée par le biais d'hydrogrammes d'apports constitués des valeurs mesurées qui sont directement introduites dans le modèle tel qu'illustré à la figure 16.

L'étalonnage et la validation constituent donc des étapes primordiales pour assurer la validité des résultats qui en seront extraits. Ils devraient être réalisés dans le meilleur des cas lorsque des mesures pluviométriques et de débits sont disponibles. Idéalement le modèle est étalonné avec une première série de pluies et il est validé dans une deuxième étape en comparant les résultats simulés aux paramètres mesurés pour une autre série d'événements de façon à pouvoir juger de la qualité et de la robustesse de l'étalonnage (Charron, 1994), (Rivard, 1998).

Les données de précipitations doivent être connues avec un certain niveau d'exactitude. Le niveau de précision dépend de la méthodologie employée pour l'acquisition des données. À cause d'une part de la mesure ponctuelle de l'intensité et des effets du vent sur la qualité de ces mesures et d'autre part de la variation spatiale de la pluie. La localisation et la densité des pluviomètres sur le territoire à l'étude constituent donc des considérations de première importance pour caractériser de façon réaliste les paramètres d'entrée d'un modèle (Deveau, 2001).

Les débits mesurés à différents points du réseau représentent les paramètres de sortie du modèle ou les valeurs auxquels les résultats du modèle devront correspondre.

Généralement les mesures de débit sont réalisées en continu par l'évaluation de la hauteur et de la vitesse de l'écoulement. Le niveau de précision des mesures est fonction du type d'instrumentation utilisé et des étalonnages effectués ainsi que de leur localisation sur le réseau.

Pour obtenir des mesures fiables, il est recommandé de positionner les appareils de mesure à des endroits où l'écoulement est permanent (Deveau, 2001).

Comme la qualité de ces observations est déterminante pour l'efficacité de l'étalonnage du modèle et en conséquence de la fiabilité des résultats les données recueillies devront donc être validées. Il est de plus évident que l'efficacité de ce travail repose sur le nombre d'événements observés. Ainsi, plus ce nombre est grand et plus la variabilité dans la nature des sollicitations est couverte. Par conséquent, plus les résultats seront valables.

Il faut toutefois une durée d'observation assez longue pour obtenir un nombre élevé d'événement. Un compromis doit être envisagé entre le coût d'évaluation et l'ampleur du problème. Il est fortement conseillé de recueillir un minimum de trois à cinq événements pour considérer la campagne comme étant une réussite (WRC, 2001).

Afin d'évaluer la qualité, des critères doivent aussi être établis afin de comparer les paramètres mesurés avec les valeurs simulées par le modèle.

Trois critères pour l'étalonnage sont généralement utilisés:

- Le rapport des volumes d'eau captés dans le réseau de conduites.
- Le rapport des débits maximaux.
- La différence entre les temps d'occurrence du débit de pointe.

Ce dernier critère représente un indicateur de la simultanéité entre les conditions mesurées et les conditions simulées.

Enfin il faut vérifier la sensibilité du modèle à la variation des valeurs des paramètres de la modélisation. L'objectif de cette analyse de sensibilité est d'établir la pertinence des paramètres de la modélisation suivant l'influence de leur variation sur les résultats des simulations en terme de critères de calibration pour des conditions données. C'est la seule étape qui peut être utilisée pour évaluer le degré d'incertitude associée à l'utilisation du modèle en l'absence de données réelles.

Pour mettre en œuvre la méthodologie présentée ici dans le cadre de cette étude, le logiciel XP-SWMM (XP-Software, 2000) a été retenu. XP-SWMM est une version commerciale de SWMM. C'est un logiciel de simulation très complet permettant la simulation de phénomènes hydrologiques et hydrauliques en milieu rural ou urbain. Ses fonctions sont très étendues et l'espace de travail est convivial. De nombreuses possibilités de visualisation et d'exploitation des résultats sont offertes comme les graphiques, les vues en coupe animées des hauteurs d'eau dans les conduites ou la mise en évidence de mises en charge et débordements.

XP-SWMM contient trois modules, qui peuvent être utilisés de manière indépendante ; un module ruissellement, un module sanitaire et un module hydraulique. Un élément du réseau peut se trouver dans un seul ou plusieurs module ou au contraire n'exister que dans un des modules (comme par exemple un bassin versant, dans le module ruissellement).

Le module ruissellement contient la partie « hydrologique » du logiciel, qui permet la mise en place des bassins et sous-bassins versants et la génération du ruissellement. Neuf méthodes de calcul d'hydrographe sont disponibles. Le module sanitaire traite de l'évacuation des eaux domestiques. D'un point de vue hydraulique, les éléments du réseau seront les mêmes que ceux du module hydraulique, mais la génération des débits est afférente à la production d'eaux usées et non aux événements de pluie.

Le module hydraulique achemine les débits générés en différents points par les modules précédents. Il calcule l'acheminement de ces eaux en utilisant différentes méthodes de calcul.

XP-SWMM possède également de nombreuses fonctions permettant la simulation et l'analyse d'aspects qualitatifs. Il utilise une représentation de connectivité classique conduites et nœuds. Les nœuds sont des points spécifiques du réseau où intervient un changement géométrique et/ou hydraulique (pente, ...). Les conduites ont des propriétés constantes sur toute leur longueur.

Ce choix a donc été motivé par la facilité d'utilisation que ce logiciel procure comparé au logiciel SWMM auquel il emprunte le moteur de calcul. Il faut noter que SWMM bénéficie d'une grande popularité en Amérique du Nord où il constitue une référence pour la simulation du comportement hydraulique et hydrologique des réseaux d'assainissement (Huber W.C., 1988).

Ce modèle est basé sur la résolution des équations de Barré de Saint-Venant par une méthode de différences finies (Thompson *et al.*, 1993) et par la méthode du réservoir non linéaire.

Cette méthode est très utilisée pour simuler le ruissellement en milieu urbain lorsqu'on fait appel à l'informatique et elle est particulièrement utile pour un réseau très plat et maillé. La méthode du réservoir non linéaire est basée sur le couplage de l'équation de continuité et de l'équation de Manning (2).

L'équation de continuité s'écrit :

$$\frac{dS}{dt} = A \frac{dd}{dt} = Ai^* - Q \quad (3.1)$$

- où  $d$  est la profondeur de l'eau du bassin (m),  
 $A$  est la surface du bassin ( $m^2$ ),  
 $S = Ad$  est le volume d'eau disponible dans le bassin à l'instant  $t$  ( $m^3$ ),  
 $t$  est le temps instantané (s),  
 $i^*$  l'intensité des précipitations nettes  
(pluie brute + fonte – infiltration – évaporation) en m/s.

Le débit de sortie  $Q$  est donné par l'équation de Manning écrite sous la forme suivante:

$$Q = W \frac{1}{n} (d - d_p)^{5/3} S_0^{1/2} \quad (3.2)$$

- où  $W$  est la largeur de drainage du bassin, pour un bassin en fonction de la longueur du chenal principal  $L$  et de la superficie totale  $A$ ;  
 $n$  est le coefficient de Manning;  
 $d_p$  est la profondeur de stockage dans les dépressions (m);  
 $S_0$  est la pente du terrain (m/m).

En utilisant l'équation de Manning (2) dans l'équation de continuité (1), on obtient l'équation à solutionner suivante:

$$\frac{dd}{dt} = i^* + W \frac{S_0^{1/2}}{nA} (d - d_p)^{5/3} \quad (3.3)$$

Sous forme de différences finies, l'équation (3) devient :

$$\frac{d_2 - d_1}{\Delta t} = i^* + W \frac{S_0^{1/2}}{nA} \left[ d_1 + \frac{1}{2} (d_2 - d_1) - d_p \right]^{5/3} \quad (3.4)$$

À chaque intervalle de temps, la valeur de  $d_2$  est trouvée à l'aide d'itérations par la méthode de Newton-Raphson.

Les différentes valeurs successives des profondeurs  $d$  permettent ensuite de calculer les débits correspondant à la sortie du bassin en utilisant l'équation (2).

La largeur du bassin  $W$  est souvent utilisée comme paramètre d'étalonnage pour moduler les débits simulés aux valeurs mesurées ou pour faire diminuer l'écart entre l'estimation du débit de pointe et le temps de montée. La fonction motrice étant la pluie il faut aussi introduire des événements pluviométriques dans le modèle pour évaluer le comportement hydraulique du système relativement aux critères de performance établis.

Cette tâche peut s'effectuer suivant deux approches. La première approche utilise des pluies synthétiques comme paramètre d'entrée au modèle de simulation et pour évaluer le comportement hydraulique du système. La deuxième approche nécessite l'utilisation d'une série de pluies réelles répartie sur plusieurs années. Le choix de l'approche est conditionné par certaines considérations telles que la disponibilité de données de base adéquates, la disponibilité de temps et le niveau de qualité ou de réalisme recherché.

La première approche est caractérisée par l'utilisation de pluies synthétiques. Une pluie synthétique peut être obtenue à partir des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF), avec une distribution temporelle plus ou moins arbitraire ou une pluie dont la distribution temporelle est dérivée à partir d'analyses sur des événements pluvieux historiques (Rivard, 1998).

Une période de récurrence est associée à ce type de pluie et cette période est présumée la même pour le volume ou le débit simulé par le modèle. La figure 17 illustre à titre d'exemple, les courbes IDF qui furent évaluées pour la région de Montréal.



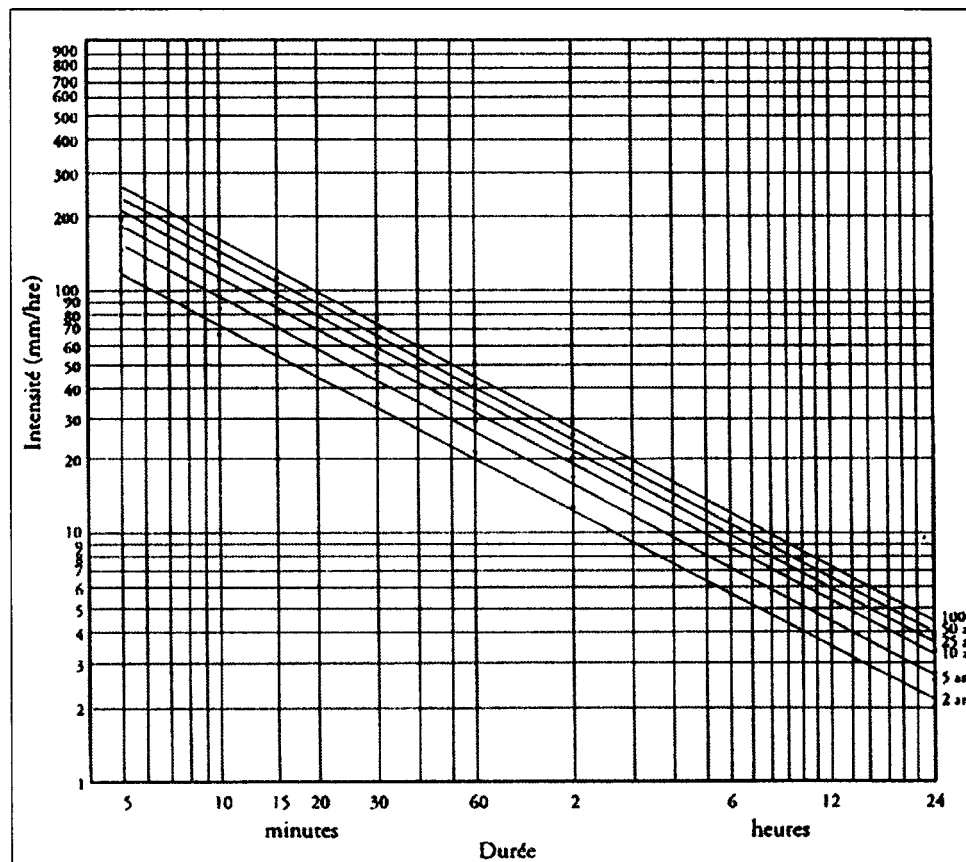


Figure 17 Courbes intensité-durée-fréquence Dorval

En soumettant le modèle à différentes pluies synthétiques possédant leurs propres périodes de retour, il est alors possible d'associer une récurrence à la défaillance du système relativement à chacun des critères de performance. Par la suite le modèle est modifié avec des scénarios possibles de solution.

Cette situation suppose que la période de retour des valeurs estimées correspond à celle de la pluie synthétique utilisée. Dans les faits cette hypothèse est fautive et il est nécessaire de recourir à une autre approche afin d'obtenir des résultats se rapprochant le plus des conditions réelles.

Cette approche consiste à utiliser une série de pluies réelles répartie sur plusieurs années. Conséquemment le comportement simulé par le modèle est obtenu par chacune des pluies de la série utilisée. L'analyse statistique de ces résultats permet également d'associer une récurrence à la défaillance du système relativement aux critères de performance établis préalablement.

Encore ici pour valider le modèle, il est essentiel d'avoir recours à une campagne de mesures sur le terrain. Il faut donc choisir des événements pluviométriques à utiliser pour les simulations parmi les événements pour lesquels des données sont disponibles.

Afin de limiter la subjectivité dans l'évaluation de la qualité et de la pertinence des résultats trois critères de performance mesurant l'écart entre les variables sont généralement calculées et les variables de référence doivent être considérées.

Le premier est le coefficient de Nash. En effet, ce coefficient est le critère le plus utilisé en hydrologie pour apprécier la concordance entre les débits mesurés et les valeurs de référence.

$$\text{Nash} = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1} [Q_{\text{ref}}(i) - Q_{\text{cal}}(i)]^2}{\sum_{i=1} [Q_{\text{ref}}(i) - Q_{\text{ref}}]^2} \right] \quad (3.5)$$

Où :  $Q_{\text{ref}}(i)$  : débit de référence à l'instant  $i$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

$Q_{\text{cal}}(i)$  : débit calculé à l'instant  $i$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

$Q_{\text{ref}}$  : débit moyen de référence ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Le rapprochement du coefficient de Nash de l'unité est un bon indicateur de la concordance entre les valeurs simulées et les valeurs de référence.

Dans un deuxième temps, pour analyser les problèmes de débordement, il est aussi primordial de connaître le rapport  $Q_{\max} / Q_{\text{admissible}}$ . On peut alors définir un critère de performance en rapport avec le débit de pointe par la relation suivante:

$$RQp = Qp \text{ cal} / Qp \text{ ref} \quad (3.6)$$

Comme pour le coefficient de Nash, le rapprochement de  $RQp$  de l'unité mesure la concordance entre les débits de pointe de référence et ceux simulés par l'approche préconisée.

Enfin, pour la gestion en temps réel, le synchronisme entre les débits simulés et les débits réels est d'une très grande importance. Toutes les stratégies de dérivation des flux reposent sur les temps de propagation des différents flux sur les bassins versants et dans le réseau de drainage. On peut donc aussi définir un critère de performance en relation avec le temps d'occurrence des débits de pointe, soit:

$$\Delta T = TQp \text{ simulé} - TQp \text{ ref} \quad (3.7)$$

Où  $\Delta T = 0$ , indique un synchronisme parfait.

## CHAPITRE 4

### PROJET RÉALISÉ

#### 4.1 Nature du projet

Le projet présenté est celui de la restructuration des réseaux d'assainissement desservant le quartier centre-ville de l'arrondissement Verdun à Montréal. Pour éviter des inondations et des débordements trop fréquents, nous avons apporté des modifications majeures aux réseaux existants et construit de nouvelles structures hydrauliques. Les changements comprennent la construction de bassins de rétention, un nouvel émissaire au fleuve Saint-Laurent et un nouveau réseau de sub-surface. Le tout est supporté par un système de régularisation assisté grâce à l'utilisation de nouvelles technologies de gestion, d'opération et de suivi en temps réel de la qualité des eaux.

##### 4.1.1 Description du site

Le quartier centre-ville de l'arrondissement Verdun à Montréal se situe sur le territoire de la Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM), figure 18.

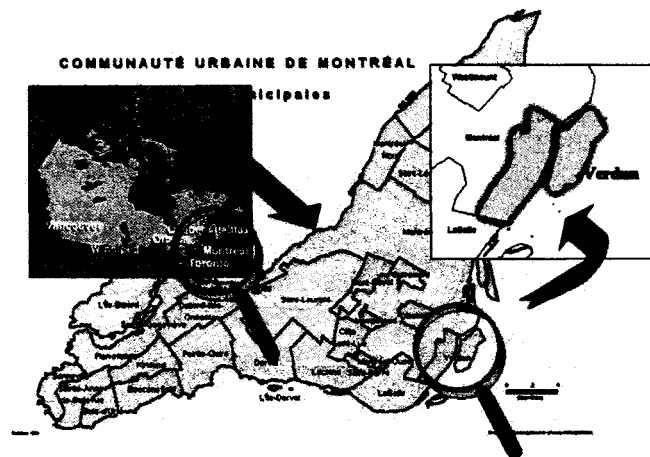


Figure 18 Localisation du site à l'étude

Avec 1 776 000 personnes le territoire de la CMM est un archipel de 500 km<sup>2</sup> entouré par la rivière des Prairies au nord et le fleuve Saint-Laurent au sud. À la hauteur de Montréal le fleuve Saint-Laurent a un débit moyen de 8 560 m<sup>3</sup>/s alors que celui de la rivière des Prairies est de 1 094 m<sup>3</sup>/s.

Sur ce territoire on retrouve le tiers de la population québécoise, le tiers de la main-d'oeuvre et près de 45 % de l'activité manufacturière du Québec. Le fleuve Saint-Laurent, la rivière des Prairies et les lacs Saint-Louis et des Deux-Montagnes qui ceignent ce territoire offrent un potentiel récréatif exceptionnel. Que ce soit pour les activités de contact direct avec l'eau (baignade, planche à voile, ski nautique), de contact indirect (navigation de plaisance canotage, pêche sportive) ou de contact visuel, à partir de parcs riverains, de sentiers pédestres et de pistes cyclables. (Forget D., 2000)

La gestion des eaux usées a été confiée à la Communauté urbaine de Montréal ( CUM ) dès sa création en 1970 et depuis 1995 toutes les eaux usées du territoire sont traitées. Entre le début des années 1980 et 1997, 1,4 milliard de dollars furent investis dont 600 M\$ pour la station d'épuration et 800 M\$ pour les réseaux d'intercepteurs.

Le territoire de la CUM désigné maintenant sous le nom de Communauté métropolitaine de Montréal CMM suite aux fusions municipales est drainé par quelque 180 émissaires situés tout autour de l'île de Montréal.

La CMM gère aussi deux intercepteurs l'un au nord et l'autre au sud de l'île de Montréal. Construits entre 1974 et 1995 dans le cadre du PAEQ, les intercepteurs nord et sud amènent aujourd'hui les eaux usées et les eaux de pluie en direction de la station d'épuration de Montréal située au nord-est de l'île. L'arrondissement de Verdun desservi par l'intercepteur sud possède trois de ces émissaires incluant celui desservant le quartier centre-ville c'est-à-dire le bassin No.1.

Aussi désigné comme émissaire Rhéaume à cause de sa localisation qui est située à proximité de la rue Rhéaume. Ce bassin, qui est desservi par un réseau unitaire est limité à l'ouest par le canal de l'aqueduc et l'usine de filtration de la Ville de Montréal et inclut une partie du terrain occupé par cette usine. Au nord le secteur est délimité par le territoire de la Ville de Montréal, au sud par la 1<sup>re</sup> avenue et à l'est par le fleuve Saint-Laurent.

Les caractéristiques du bassin Rhéaume sont les suivantes :

Superficie	177 ha
Imperméabilité	60 %
Nombre d'habitants	22'000 hab.
Pente moyenne	1 %
Occupation du sol	résidentielle et commerciale
Type de réseau	unitaire.

Le secteur est aujourd'hui protégé par une station de pompage; la station de pompage Rhéaume (STAP), tel qu'illustré à la figure 19.

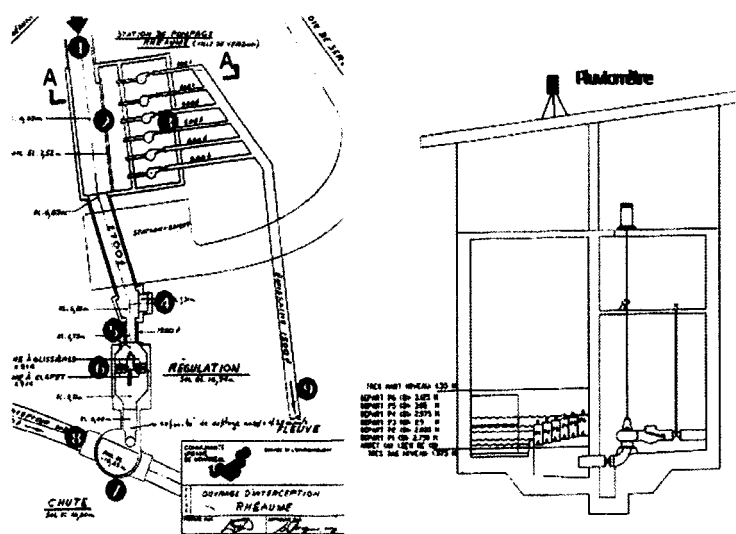


Figure 19 Station Rhéaume et ouvrages de la CMM

Cette station est névralgique pour l'évacuation des eaux usées de ce secteur car toutes les eaux usées de ce bassin se concentrent en ce point. La STAP est aussi de nos jours raccordé à l'intercepteur sud et au point de raccordement Rhéaume les ouvrages de raccordement se composent d'une structure de dérivation, d'une structure de régulation munie de deux vannes et d'une structure de chute à l'intercepteur, tel que décrit au tableau V.

Tableau V

## Légende de la STAP Rhéaume

Ouvrage	Description des ouvrages
1	Arrivée des différents collecteurs du bassin 1.
2	Déversoir d'orage, type noyé (longueur : 12 m, hauteur 0.6 m).
3	Station de pompage : 4 pompes électriques, 2 pompes diesel. Capacité totale : 5.7 m <sup>3</sup> /s. Hauteurs enclenchement et déclenchement
4	Chambre provisoire, bouchon prévu pour futur émissaire gravitaire
5	Mesure des hauteurs d'eau par la CUM
6	Chambre de vannes CMM. 2 vannes rectangulaires de 0.83 m <sup>2</sup> chacune. L'ouverture ou la fermeture des vannes est commandée par la mesure des hauteurs au point 8
7	Structure de chute de la CMM. Hauteur de chute : 22 m, capacité maximale : 4.5 m <sup>3</sup> /s
8	Mesure des hauteurs d'eau par la CUM dans l'intercepteur sud
9	Exutoire de la station de pompage vers le fleuve Saint-Laurent

La totalité des eaux issues du bassin de drainage Rhéaume est ainsi dérivée vers l'intercepteur en période de temps sec. Par contre lors des orages de forte intensité une partie des eaux pluviales et des eaux usées est pompée directement au fleuve Saint-Laurent.

La STAP a été construite en 1956 et acheminait les eaux usées de la ville de Verdun au fleuve Saint-Laurent avant la construction de l'intercepteur sud. Actuellement, elle est en fonction par temps de pluie pour évacuer les eaux qui ne peuvent être prises en charge par l'intercepteur ou en cas de fermeture des vannes de la CMM au niveau de la structure de régulation.

Le réseau d'égouts combinés existant est de forme ovoïdale et existe depuis plus de 70 ans soit lors de l'explosion démographique de ce secteur qui culmina en 1924. Ces conduites suivent généralement la pente de la rue mais on en retrouve à certains endroits critiques à contre-pente. Le réseau est dans son ensemble, constitué de conduites peu profondes et sédimentées dont les pentes, tout comme les rues, sont assez faibles.

#### **4.1.2 Problématique hydraulique et environnementale du site**

La municipalité a dû faire face à des inondations récurrentes dans ce secteur. Le vieillissement et le degré de dégradation de ces infrastructures en sont la cause. L'état du réseau, qui pour une grande partie a été mis en place lors de l'explosion démographique de la première grande guerre exige aujourd'hui de mettre en oeuvre des correctifs d'envergure poursuivant à la fois une réhabilitation générale du réseau et l'élimination de certains problèmes plus ponctuels. D'une façon générale et pour exprimer l'ampleur du problème notons que la municipalité subissait de 3 à 4 inondations par année qui ont fait l'objet chacune de 60 à 80 réclamations et dont le coût par réclamation variait entre 1 000 \$ et 60 000 \$.



La figure 20 présente la localisation des nombreuses plaintes répertoriées entre 1993 et 1997.

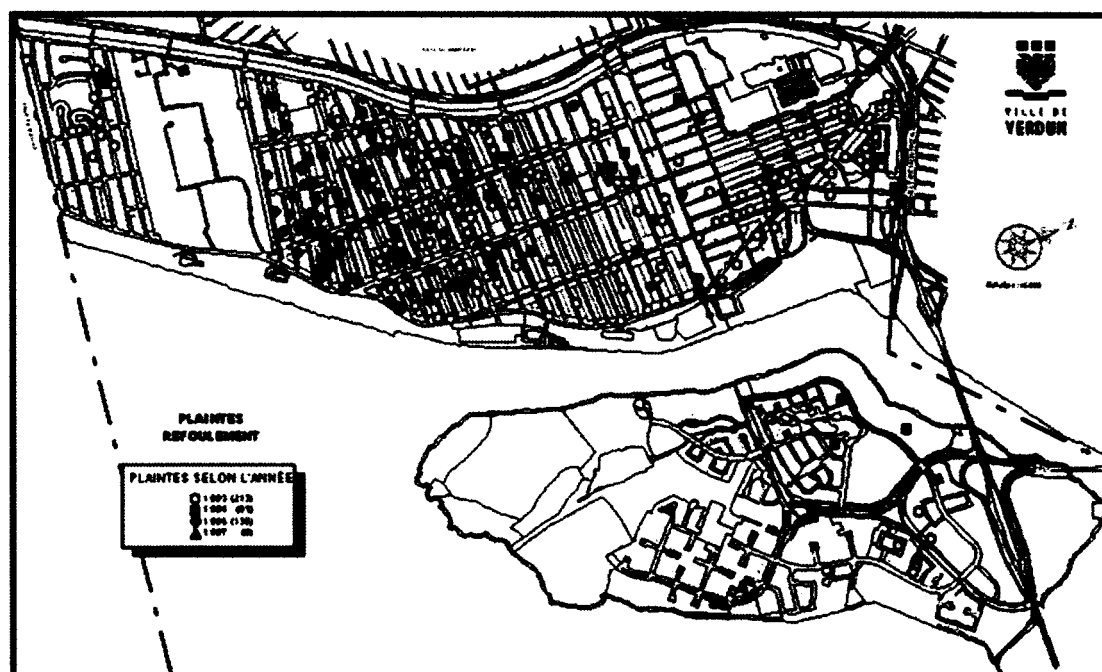


Figure 20 Localisation des plaintes d'inondations

Avant l'avènement du PAEQ, le territoire à l'étude était desservi par un réseau unitaire. Il n'y avait donc aucune séparation entre les eaux pluviales et sanitaires provenant du bassin Rhéaume. Ainsi la totalité des eaux issues de ce territoire était acheminée à la station de pompage Rhéaume avant d'être déversé au fleuve Saint-Laurent sans aucun traitement.

En 1999 le raccordement du puits de pompage a été réalisé via la structure de régulation Rhéaume à l'intercepteur sud de la CMM. En temps sec les eaux usées de ce territoire sont désormais acheminées vers la station d'épuration pour leur traitement avant le déversement dans le cours d'eau.

En temps de pluie, pour éviter de surcharger l'intercepteur et la station d'épuration, la structure de régulation Rhéaume dérive une partie, sinon parfois la totalité des eaux usées de ce secteur vers la station de pompage, qui déverse ces eaux dans le fleuve sans aucun traitement.

Rappelons brièvement les différents seuils du fonctionnement au niveau de la station de pompage Rhéaume. La structure de régulation de la CMM vers l'intercepteur sud au niveau de l'ouvrage de régulation Rhéaume est capable de dériver un débit potentiel de  $4.25\text{m}^3/\text{s}$  qui correspond à un débit résultant d'une pluie 1/année. Malheureusement cette valeur n'est que théorique car en réalité la CMM commence à fermer la vanne dès que le niveau dans l'intercepteur dépasse 95% de son diamètre.

Ainsi la fréquence des débordements de ces eaux unitaires dépasse les limites fixées par le Ministère de l'Environnement (un débordement par mois pour les eaux courantes et un débordement par deux mois pour des eaux stagnantes durant la période estivale du 1 mai au 31 de octobre). À titre d'exemple le nombre de débordements pour les années 1997, 1998 et 1999 ont été respectivement 14, 10 et 14 au niveau du point de régulation Rhéaume. À cette époque, compte tenu des contraintes de gestion des différents points de régulation de la CMM, la fréquence des déversements dans le fleuve était approximativement de 12.7/année. Cte qui est largement supérieur à la limite permise.

Quand la CMM amorce la fermeture des vannes les six pompes situées dans la station de pompage Rhéaume entrent successivement en fonction à différents seuils de niveau dans le puits de pompage pour refouler vers le fleuve un débit potentiel de  $5.66\text{ m}^3/\text{s}$ . Cette valeur de débit correspond approximativement au débit de ruissellement généré par une pluie de période de retour de 1/année. Donc, à cette époque si l'on écarte les problèmes ponctuels dans le réseau (points bas, étranglement,...) les citoyens pouvaient s'attendre en moyenne à deux épisodes d'inondation par année.

Soulignons au passage que les eaux piégées pour inonder les citoyens ne sont pas forcément interceptées ultérieurement pour être traitées. Elles sont en grande partie pompées sur une plus longue durée pour être refoulées vers le fleuve saint-Laurent. La fréquence des inondations est de 1/année ce qui est largement supérieure à la fréquence minimale de 1/5 années qu'on doit garantir aux citoyens, d'où la nécessité des correctifs.

#### **4.1.3 Diagnostic hydraulique et environnemental du réseau**

Basé sur ces constats une analyse des besoins relatifs à la correction des dysfonctions hydrauliques et environnementales du réseau d'assainissement a été réalisée à l'échelle du bassin hydrographique Rhéaume.

Cette étude visait à déterminer l'état fonctionnel de ces infrastructures urbaines et voir dans quelle mesure les exigences et les normes relatives à la quantité et la qualité des eaux étaient respectées. Elle visait suivant l'approche méthodologique présentée au chapitre précédent à déterminer les impacts économiques et sociaux sur les résidents et à contrôler et diminuer les impacts environnementaux sur le fleuve Saint-Laurent.

Elle visait également à minimiser l'envergure des travaux à la lumière des contraintes physiques du territoire, à réduire les activités d'entretien requis et la rentabilité des techniques et des ouvrages à réaliser. À cette fin un inventaire exhaustif a été réalisé sur de nombreuses années faisant appel à diverses méthodes allant de l'inspection visuelle, de l'échantillonnage, des analyses en laboratoires aux inspections à l'aide de caméras en circuit fermé (CCTV). L'historique de la construction des réseaux et celui de l'occurrence des inondations furent aussi établis.

L'agrégation et l'étude préliminaire des données ont permis de connaître l'état général du réseau et d'identifier les pistes de solutions à être mis en œuvre pour effectuer une réhabilitation fonctionnelle et environnementale du réseau en place.

Les critères de conception retenus à cette étape visaient principalement la réduction de l'occurrence des inondations et des désagréments qu'elles engendrent pour les populations touchées.

Également par un meilleur contrôle des volumes et du cycle hydrologique, de réduire la fréquence des débordements afin de rendre ce secteur conforme aux objectifs environnementaux de rejets du MDDEP et de récupérer certains usages du cours d'eau en berge en améliorant la qualité de l'effluent.

De plus diverses préoccupations touchant l'entretien et la maintenance du réseau en place ont permis d'établir un plan de travail ciblé à court, moyen et long termes et de l'intégrer dans un plan directeur de réfection des réseaux d'égouts coordonné avec le programme de réfection des chaussées de la municipalité selon une stratégie d'intervention intégrée de réhabilitation préétablie.

#### **4.1.4 Analyse des performances hydrauliques et environnementales**

Le module hydrologique RUNOFF de XP\_SWMM (XP-Software, 2000) a été utilisé pour calculer et générer les hydrogrammes de ruissellement à l'exutoire de chacun des sous-bassins de drainage.

Pour fins de simulation, tout le territoire desservi par la station de pompage Rhéaume a été caractérisé et modélisé de façon détaillée, figure 21.

La modélisation détaillée consiste à représenter d'une manière assez fine tous les sous-bassins et les conduits possédant un diamètre significatif au niveau de chaque rue.

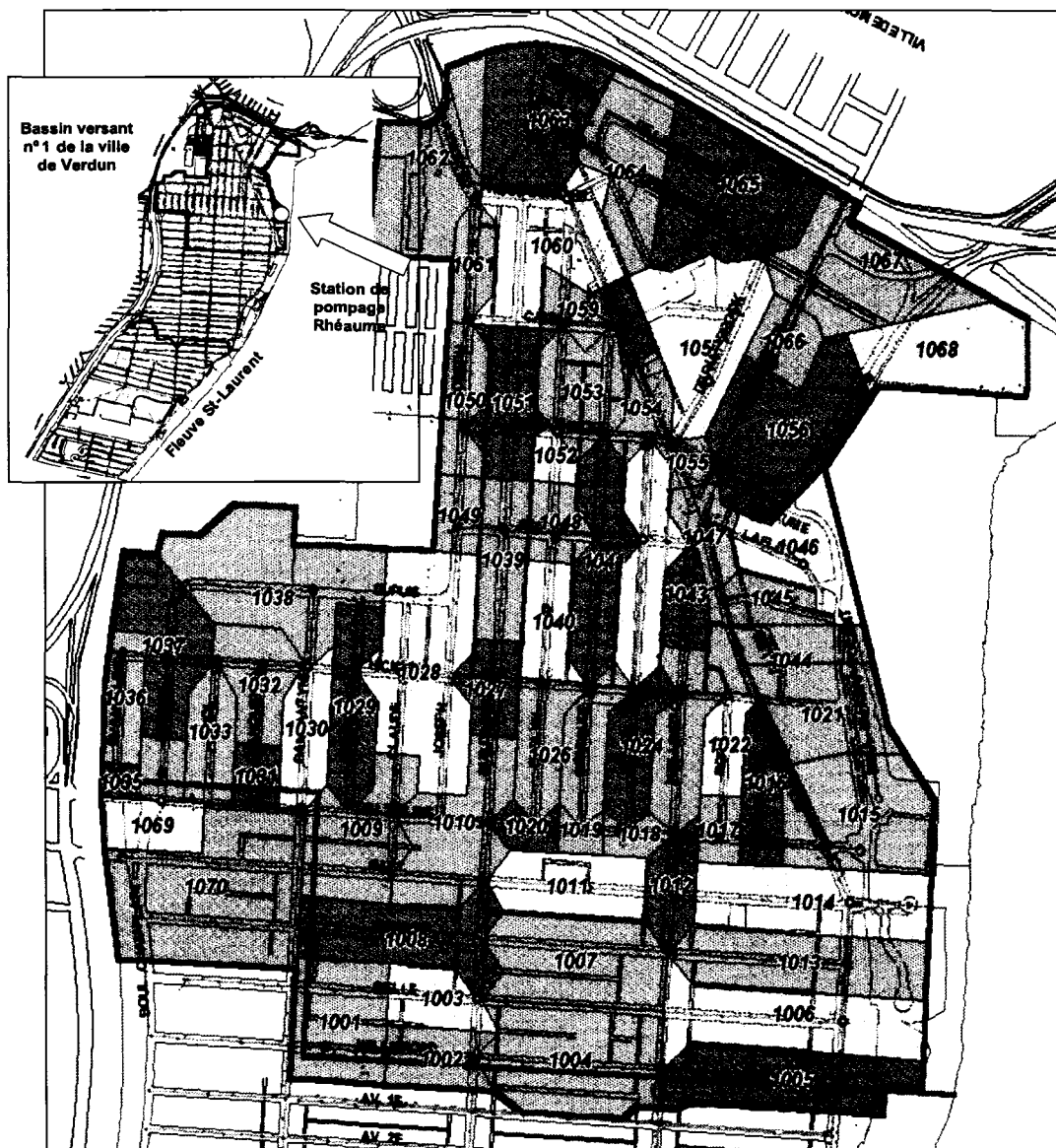


Figure 21 Caractérisation du bassin drainant

Tout le bassin Rhéaume a ainsi été fractionné en soixante-six sous-bassins. Chacun est composé de surfaces perméables et de surfaces imperméables. Les pourcentages d'imperméabilité des surfaces ont été établis pour tout le secteur. Ceux-ci sont variables puisque chaque rue a été caractérisée indépendamment.

À cette fin plusieurs documents spécifiquement le plan général des égouts de la ville, le plan de zonage, la matrice graphique du service de la cartographie du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources et finalement, de nombreux relevés sur place ont dû être effectués en collaboration étroite avec l'Ingénieur de la Ville.

En milieu urbain densément peuplé comme c'est le cas pour Verdun les surfaces imperméables directement drainées sont souvent les rues et les toitures constituées dans ce cas de toits plats directement raccordés à l'égout.

Le bassin de drainage ainsi caractérisé a servi au calcul de l'hydrogramme de ruissellement de chaque sous bassin pour des pluies variées qui sont considérées uniformes sur tout le territoire simulé. Étant donné que le bassin drainant est relativement petit, les variations spatiales des intensités de précipitation ne furent pas considérées pour permettre ainsi une vue plus conservatrice du phénomène de ruissellement.

Le réseau de conduits a également été modélisé dans son intégralité. Ainsi toutes les composantes qui assurent le transport, le contrôle et l'emmagasinement des eaux pluviales ont été caractérisées en vue d'établir leurs performances.

Pour chaque conduit caractérisé, le système hydrique a été séparé en deux parties, comme il suit :

- les eaux directement raccordées à l'égout c'est-à-dire celles provenant des eaux usées domestiques et celles provenant du drainage des toits; et
- les eaux qui ruissellent en surface avant d'être captées, à savoir celles des terrains, des rues, des ruelles et des parcs.

Le module EXTRAN du même logiciel a été utilisé pour analyser la propagation des crues dans les conduites caractérisées à la figure 22.



La figure 23 montre, à titre d'exemple les données de septembre 2000 utilisées à cette fin.

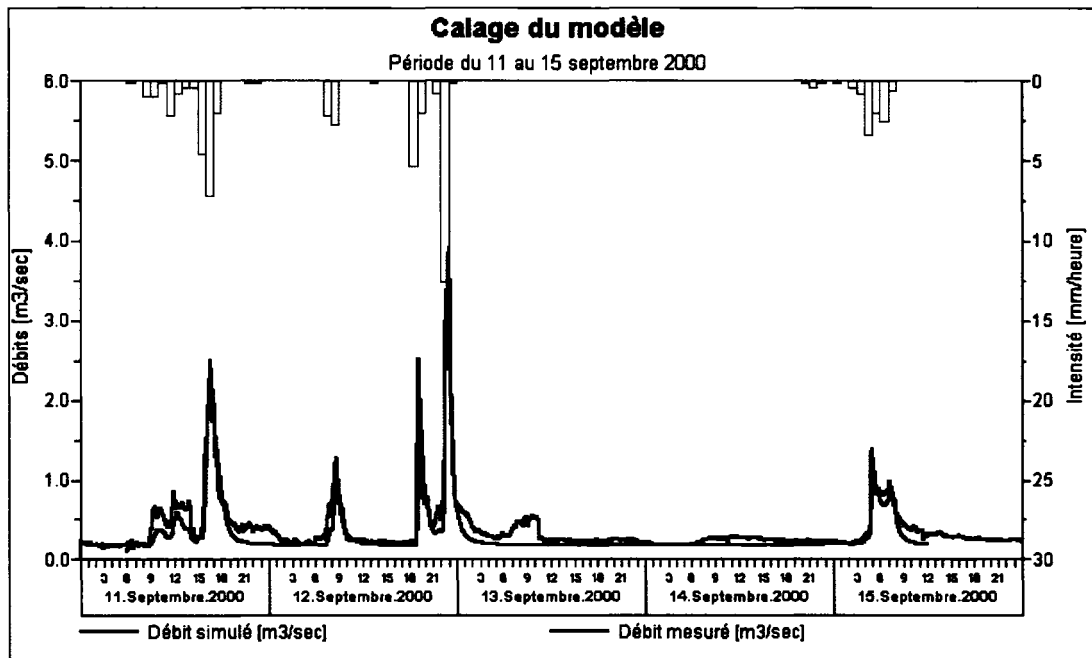


Figure 23 Données de pluies utilisées pour la validation

Pour effectuer ce calage, un certain nombre de paramètres pertinents sont généralement utilisés. Ces paramètres influencent les résultats mais des valeurs optimales doivent être obtenues.

Dans le cas présent le calage est effectué en travaillant sur les paramètres :

- vitesse de ruissellement (lié à une rugosité de surface);
- coefficients de Horton, dans le module hydrologique;
- interception initiale (stockage de l'eau avant ruissellement).

Les débits mesurés et les débits simulés par la modélisation détaillée ont permis de juger de la pertinence de notre méthodologie. Pour ces événements, les débits générés à l'exutoire du réseau furent mesurés à différents endroits. Dans un premier temps trois sites ont été ciblés pour caractériser les flux transités dans le réseau.



Le premier est l'entrée de la station de pompage Rhéaume. Il s'agit en fait du point le plus stratégique. En temps sec le débit à cet endroit représente la résultante de toutes les eaux sanitaire, commerciale, institutionnelle, industrielle et d'infiltration du bassin Rhéaume. En temps de pluie, les eaux de ruissellement sur l'ensemble de ce secteur viennent s'ajouter au débit de temps sec. Les eaux à cet endroit ont été caractérisées sur les plans qualitatif et quantitatif, aussi bien en temps sec qu'en temps de pluie.

Le deuxième point de mesure était situé dans un regard situé sur la rue Wellington où débouche une conduite pluviale (600 mm) drainant un petit bassin de superficie 6.86 hectares. Il s'agit d'une conduite faisant partie du réseau de sub-surface projeté. Le troisième point de mesure était localisé dans un regard situé au parc Grenier où aboutissent deux conduites pluviales (600 mm chacune) drainant un bassin d'une superficie de 9.22 hectares. Les deux derniers points permettent de connaître les caractéristiques des eaux de ruissellement de surface.

Huit événements pluviométriques furent échantillonnés. Le tableau VI extrait de la campagne de mesures réalisée par le professeur Bennis montre les caractéristiques des huit événements pluviométriques échantillonnés. Cet échantillon renferme toutes les gammes d'intensités maximales sur 5 minutes et 60 minutes de pluies cumulatives et de périodes de retour pour 60 minutes (Bennis, 2000). La durée de 60 minutes qui a été choisie correspond approximativement au temps de concentration du bassin. Il est important d'indiquer que si sur le plan quantitatif (inondation) ce sont les fréquences rares qui sont importantes (1/2 ans à 1/10 ans), sur le plan qualitatif (fréquence de débordement) on s'intéresse plutôt à des pluies plus fréquentes de période de retour (4/ans à 1/an).

C'est la pluie 1/an qui réussit à mobiliser tous les polluants et à générer les plus fortes concentrations. Les pluies les plus fréquentes n'ont pas l'énergie nécessaire pour entraîner toute la pollution disponible (Bennis, 2000).

Tableau VI  
Caractéristiques des événements pluvieux échantillonnés (Bennis, 2000)

Événement	Pluie	Durée	Imax sur	Période de	Imax sur 5	Qmax
	cumulée (mm)	Heures : min	60 min (mm/h)	retour	min mm/h	m <sup>3</sup> /s
24-09-99	3.6	1 :30	3	>6/an	4.8	1
30-09-99	18.8	9 :30	5.6	6/an	19.2	1.85
06-10-99	2.4	0 :20	2.4	>6/an	19.2	0.71
13-10-99	23.2	8 :00	7	5/an	21.6	1.88
16-08-00	27.6	3 :0	19.2	1/an	60	6.63
23-08-00	9.4	2 :30	5.6	6/an	14.4	1.81
12-09-00	21	5 :00	12.6	2/an	26.4	2.51
15-09-00	10	3 :30	4.2	>6/an	12	

Les pluies les plus rares produisent un ruissellement renfermant la même charge que la pluie 1/an mais à des concentrations plus faibles compte tenu de l'effet de dilution. Comme on peut le constater, la pluie 1/an qui fait partie de l'échantillon nous permettra de connaître la charge maximale disponible mobilisable sur le bassin 1.

Les débits de temps sec ont été caractérisés à l'entrée de la station de pompage Rhéaume par rapport aux paramètres mentionnés dans le groupe 5 de l'article 1 des directives de la Communauté Métropolitaine de Montréal (CUM, 2001).

De plus plusieurs paramètres supplémentaires (DBO<sub>5</sub>, MES, DCO, P<sub>tot</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> et NO<sub>3</sub>) ont été analysés pour être en mesure d'étudier les concentrations d'eaux pluviales à l'aide des équations de mélange.

Plus particulièrement, les principaux paramètres analysés par temps de pluie sont : MES, DBO<sub>5</sub>, DCO, P<sub>tot</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, métaux lourds, coliformes fécaux et totaux, huiles et graisses minérales et totales, les phénols. Pour l'analyse des matières en suspensions des comparaisons furent réalisées entre les hydrogrammes mesurés et les pollutogrammes des matières en suspension (MES) pour les événements analysés.

La répartition de cette charge en fonction du volume véhiculé a été analysé au cours de la campagne de mesure et est discutée en détail dans l'article « Phénomène de premier flot mythe ou réalité » (Bennis et al., 2001).

#### **4.1.5 Définition des performances souhaités**

Aux fins de la définition des performances hydrauliques et environnementales souhaités il a fallu établir deux profils hydrauliques basés sur des niveaux cibles de l'élévation de la ligne piézométrique (ELPC). Ceux-ci serviront à évaluer et définir les critères de conception.

Ces profils sont les suivants :

- la courbe enveloppe des profils maxima qui permettent aux réseaux existants de fonctionner en charge mais sans risque d'inondation par refoulement d'égout pour les résidents; et
- le profil associé à la répartition des débits au prorata des secteurs desservis pour les débits maxima admissibles à la station de pompage.

L'application de ces deux critères est importante pour établir les endroits où des correctifs et des contrôles s'avèrent nécessaires pour permettre une desserte sécuritaire du secteur étudié. La figure 24 présente une représentation de ces critères dans une vue en trois dimensions.

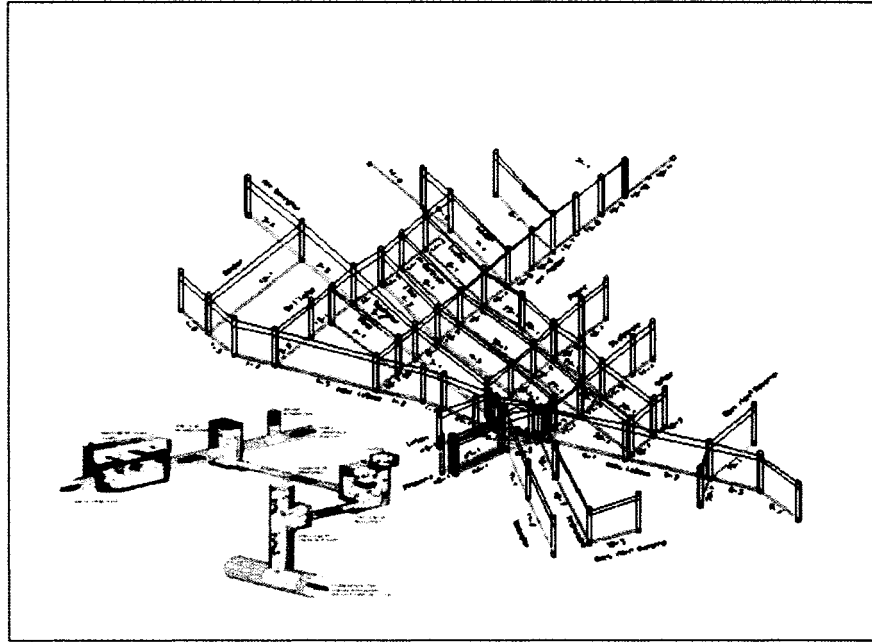


Figure 24 Représentation axonométrique des critères

Rappelons qu'il est raisonnable d'assumer qu'un niveau de protection équivalent à la cote 2 devrait toujours être respecté. Ce niveau correspond à celui pour lequel la ligne piézométrique se situe à une profondeur entre 1,6 m et 1,8 m sous le niveau du sol. Les deux profils précités doivent donc se situer sous cette profondeur et au dessus de la couronne des conduites.

L'amélioration de la performance hydraulique consistera ainsi à gérer les débits générés par une pluie de récurrence de 5 ou 10 ans. L'objectif poursuivi étant que face à ces pluies le réseau d'égouts obtienne en tous points une cote de 1 et puisse véhiculer à sa pleine capacité sans surcharge (Ligne piézométrique à la couronne de la conduite) le débit généré par ces pluies.

Si toutefois cet objectif n'est pas atteint en tout point du réseau, on s'assure tout au moins, en vertu des deux critères précités que le niveau de mise en charge sera maintenu sous le niveau pouvant créer des refoulements, ce qui équivaut à obtenir tout au moins une cote de protection 2.

À cette fin il faudra d'une part contrôler tout volume excédentaire susceptible de surcharger le réseau et d'autre part maximiser la capacité d'emmagasinement du réseau et éviter toute sous utilisation de celui-ci. Il est à noter qu'un réseau sous-utilisé obtient également une cote 2, lorsque la ligne piézométrique se situe à un niveau bien inférieur à celui de la couronne de la conduite.

Du point de vue environnemental le niveau de performance visé consiste à rendre la fréquence des déversements conforme aux objectifs environnementaux de rejet établis par le MDDEP pour ce territoire. Pour les de contrôle de débordement au fleuve Saint-Laurent à la structure de régulation Rhéaume ces exigences sont :

Pour les objectifs spécifiques au chenal entre l'île de Montréal à Verdun et l'île des Soeurs:

- moyenne maximale de 6 événements de débordement au cours de la période du 1er mai au 31 octobre.

Pour les objectifs généraux :

- aucun débordement en temps sec sauf au moment de la fonte printanière et en situation d'urgence;
- aucune augmentation des débordements en temps de pluie par rapport à la situation actuelle et;
- aucun débordement d'eaux usées ayant des fortes charges en DBO, toxiques ou à couleur prononcée (un contrôle adéquat auprès des sources devra être effectué par la CUM).

#### 4.1.6 Performances actuelles

Le réseau a été ainsi soumis à diverses pluies réelles pour la région de Verdun et synthétiques découlant des données statistiques d'enregistrements faits au cours des années par Environnement Canada.

La validité des mesures de pluies est très importante dans l'analyse des réactions d'un réseau. Il importe de vérifier la pertinence de ces données. Dans ce but, une comparaison des mesures à Rhéaume avec celles provenant d'un autre pluviographe à Dorval a été effectuée (Rossi, 2001). Elle est présentée à la figure 25.

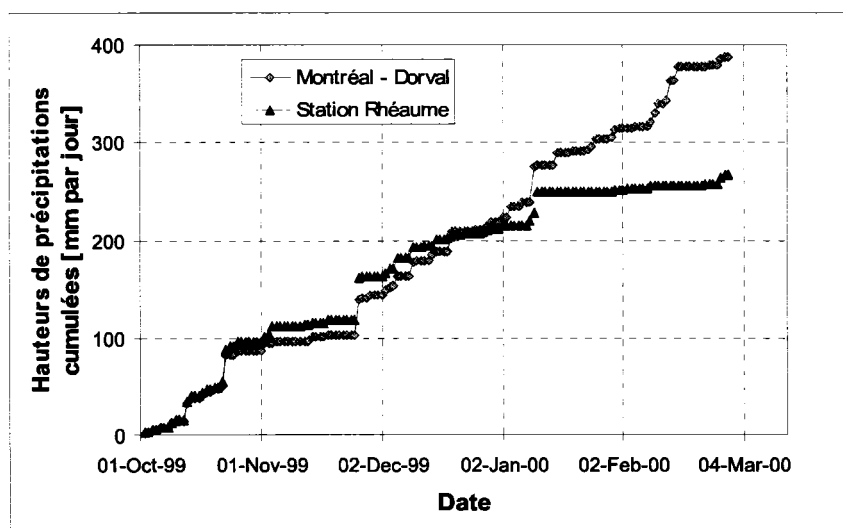


Figure 25 Comparaison des mesures de pluie (Rossi, 2001)

Les données sont cumulées pour chacune des deux stations. Les courbes cumulatives montrent une bonne correspondance sauf pour la période hivernale. Pendant cette période le pluviomètre de Dorval est équipé d'un système de chauffage ce qui n'est pas le cas à Verdun et c'est ce qui explique la dérive constatée dans la figure 25.

Les données pluviométriques sont ainsi considérées de bonne qualité et peuvent être utilisées pour les analyses. Dans l'étude du cas présenté ici on a observé une excellente concordance entre les résultats de la modélisation et les mesures. Pour les débits obtenus pour chacune des pluies, la ligne piézométrique a été établie et superposée aux deux profils précités pour déterminer dans quelle mesure les critères de sécurité et les débits maxima sont dépassés.

Par la suite, ce seront ces profils hydrauliques qui seront écrêtés générant les volumes d'eaux en surplus qui doivent être contrôlés pour éviter que le réseau surcharge. Les simulations ont été effectuées en contrôlant les débits admissibles à la station de pompage Rhéaume de manière à refléter les conditions limites dans lesquelles le réseau doit fonctionner. Ces conditions, au nombre de deux, correspondent respectivement à la capacité de la structure de régulation de la CMM de 4.25 m<sup>3</sup>/s et à la capacité maximale de la station de pompage de 5.66 m<sup>3</sup>/s.

Diverses simulations du réseau utilisant XP-SWMM furent effectuées en n'utilisant que le débit généré par les toits. Les résultats ont été utilisés pour calculer le profil hydraulique de chacune des conduites pour ensuite le comparer aux deux critères. Il a été possible de constater que le profil de la ligne piézométrique est en dessous des niveaux des deux critères sauf pour quelques endroits critiques. Cette situation indique, sauf exception, que la capacité générale du réseau n'est pas atteinte exclusivement avec l'apport des toits.

Il reste donc une capacité résiduelle susceptible de véhiculer une partie des eaux de ruissellement. Cet aspect important permet d'envisager une gestion et un contrôle indépendant des eaux pluviales et pseudo-domestiques. Il est donc possible d'entrevoir une réhabilitation économique du réseau, mais cette réhabilitation nécessitera une restructuration de celui-ci.

Il faut par la suite vérifier si face à une pluie d'hiver de récurrence de 1/10 ans associée à une fonte de neige le réseau d'égout sera en mesure de véhiculer toutes les eaux du bassin sans causer de refoulements ou d'inondations lorsque le niveau du fleuve est à son plus haut. Des simulations furent réalisées pour cette pluie et le profil hydraulique a donc été calculé également pour ce cas. Le résultat constaté est que le réseau est en mesure de véhiculer les eaux issues d'une pluie d'hiver avec une fonte de neige d'une façon générale. Mais qu'il y a également certains endroits très ponctuels où des refoulements auront lieu sous certaines rues (cote 3). Ces endroits sont bien entendu sujets à correctif.

Il est maintenant vérifié que le réseau pourrait généralement véhiculer les eaux provenant des toits et les eaux provenant d'une pluie d'hiver. Il s'agit maintenant de simuler le réseau face à des pluies d'été afin de pouvoir déterminer la nature et la localisation des correctifs et mesures de contrôle à implanter. Le réseau a donc été simulé pour des pluies de 1/5 et 1/10 ans et les profils hydrauliques correspondants furent calculés.

Comme on était en droit de s'attendre, les simulations ont démontré que le réseau n'est pas en mesure de véhiculer adéquatement les débits générés par ces événements pluvieux, sans surcharger ni déborder parfois même en surface en de nombreux endroits.

Sans alourdir le propos avec de nombreuses données, notons que la figure 26 illustre typiquement le profil en long obtenu suite aux simulations en de multiples points du réseau face aux événements simulés. La ligne de charge montre clairement un débordement en ce point du réseau.



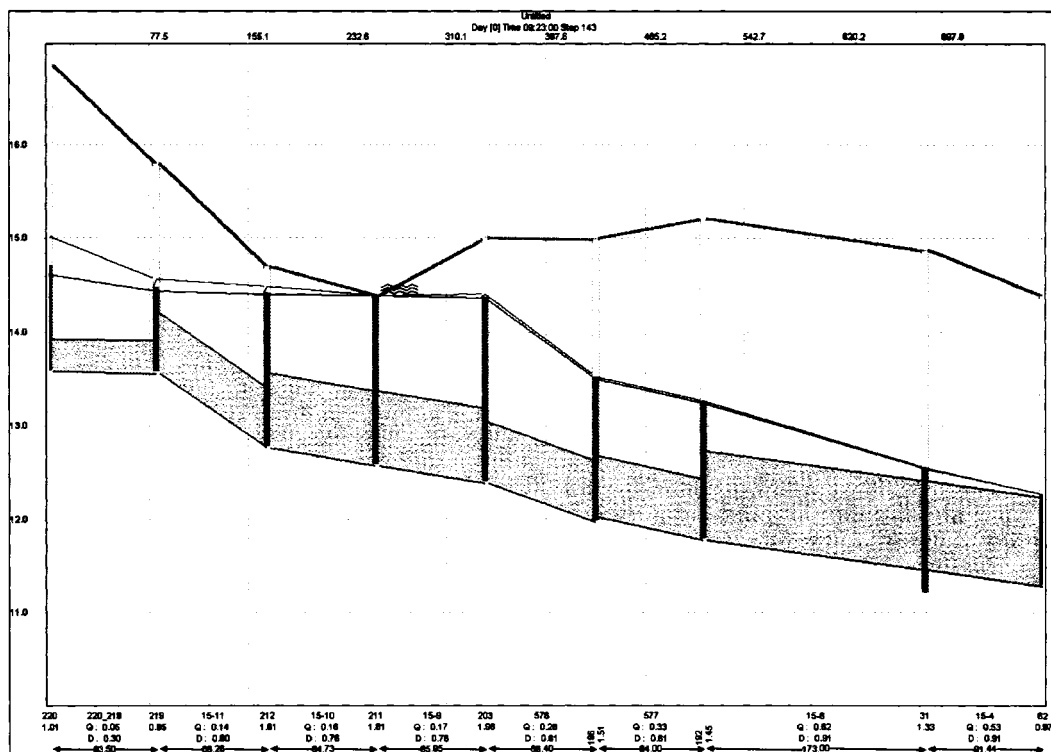


Figure 26 Débordement face aux pluies de conception (Rossi, 2001)

Rappelons qu'une bonne partie du réseau d'égouts combinés existant est de forme ovoïdale et existe depuis plus de 70 ans. Ces conduites suivent généralement la pente de la rue mais certaines, situées à plusieurs endroits critiques sont à contre-pente.

Le réseau est dans son ensemble constitué de conduites peu profondes et sédimentées dont les pentes sont assez faibles ce qui a pour effet de limiter la capacité hydraulique à des valeurs qui permettent tout juste l'évacuation des débits d'orage ayant une fréquence de 2/1 ans. Il est à noter qu'en ces occasions, le réseau doit couler en surcharge pour qu'il puisse utiliser la pleine capacité de la station de pompage Rhéaume de 5.66 m<sup>3</sup>/s.

On fait face ici à une problématique de réhabilitation concernant l'ensemble du territoire sous étude et qui nécessitera la mise en œuvre de correctifs d'envergure.

#### 4.1.7 Analyse des différentes avenues de solutions

Étant donné l'ampleur de la problématique une avenue possible aurait été de reconstruire tout le réseau en séparatif conformément à la réglementation pour les nouveaux réseaux. Cette option a été rapidement écartée pour des raisons économiques. En effet puisque la majorité des bâtiments actuels de ce quartier possèdent des toits plats sur plus de 75 kilomètres de rues, figure 27, il en aurait coûté à la municipalité et à ses résidents plus de 175 millions pour se conformer à cette directive du Ministère.



Figure 27 Toits plats

Lorsqu'on tient compte des frais et des coûts de financement d'une telle entreprise, c'est plus de 350 millions qu'il aurait fallu défrayer pour ce seul quartier. La tâche pour trouver d'autres solutions était considérable. En effet, une extrapolation de ces coûts à l'ensemble de la municipalité qui est aussi desservi en majorité par des réseaux unitaires était à cet époque évaluée à plus de 1,6 milliard \$.

Une avenue possible de solution était de contrôler par écrêtement la surcharge hydraulique dans les conduites en recourant à des pratiques de gestion optimales PGO. Rappelons que l'utilisation de ces démarches se traduit par le recours à des mesures pour réduire les débits à la source. Cette réduction peut être obtenue par diverses méthodes notamment en effectuant la dérivation des surplus et de la rétention dans des réservoirs artificiels ou même sur les toits.

Les correctifs à apporter au réseau seraient divisés en trois catégories:

- installer des restrictions aux débits permettant de contrôler et de limiter les débits en provenance des puisards;
- emmagasiner les eaux de débordement en surface dans des zones de contrôle;
- mettre en place quelques correctifs à même le réseau de conduites existantes de manière à abaisser la ligne piézométrique aux endroits critiques.

L'emmagasinement de volumes d'eau dans des zones de contrôle se ferait par l'emploi de bassins de rétention. Cette rétention des eaux pouvait se faire par exemple, en surface, dans un parc, dans un stationnement ou sous la surface du sol dans des bassins de gravier spécialement conçus à cet effet.

Pour rencontrer cet objectif il s'agissait d'aménager dans des lieux vacants certaines infrastructures spéciales qui auraient servi à l'emmagasinement des eaux de pluie afin que le débit maximum à l'exutoire du réseau d'égout du bassin de drainage ne dépasse pas  $5.66 \text{ m}^3/\text{s}$ . Toutefois étant donné le manque d'espace disponible dans ce quartier à des fins d'aménagement de zones de rétention cette option ne peut être envisagée.

Une autre option envisageable consiste à procéder à une restructuration plus substantielle du réseau. Cette restructuration devant être réalisée de façon à permettre l'acheminement des eaux de ruissellement de surface vers des zones de contrôle ou de déversement avant que celles-ci ne soient captées par le réseau combiné existant.

Les simulations du réseau unitaire ont démontré qu'environ 40% à 60% des débits pouvaient être dérivés de cette façon. Ce qui laisse une capacité résiduelle appréciable dans le réseau pseudo domestique ainsi créé.

La figure 28 présente le résultat obtenu après avoir procédé à un tel écrêtement des débits de pointe dans le tronçon présenté à la figure 26.

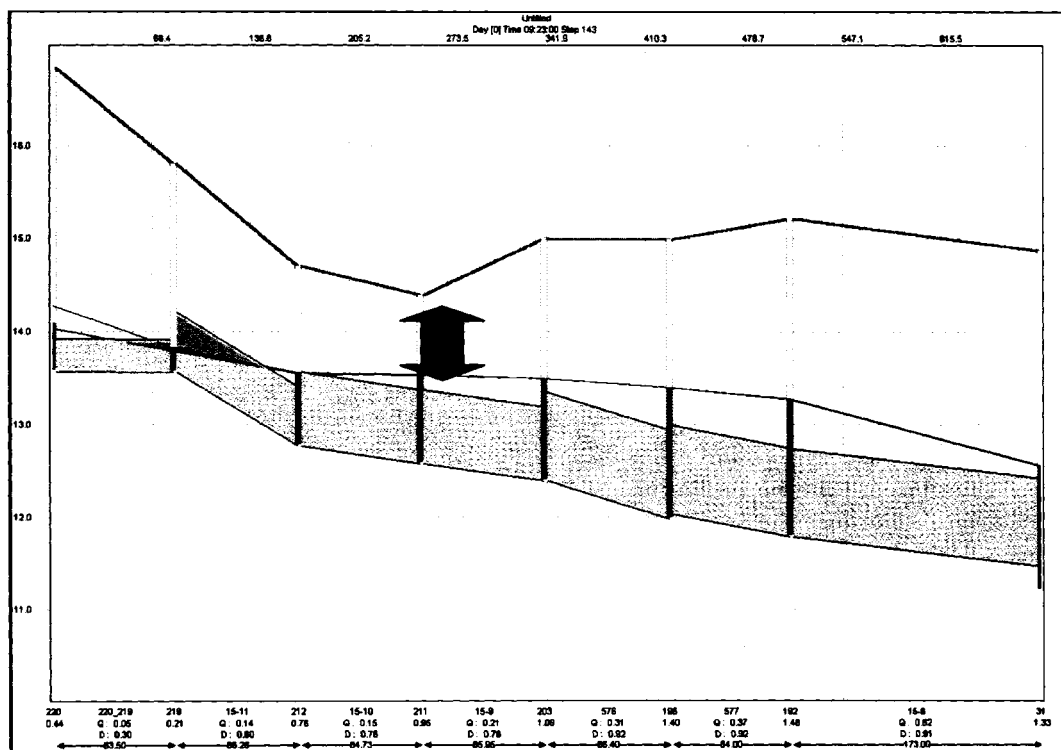


Figure 28 Réduction de débits par écrêtement (Rossi, 2001)

D'autre part puisque ces nouvelles structures fonctionneraient par trop-plein une capacité de rétention considérable est également ajoutée. Cette capacité résiduelle ouvre la porte à une possibilité de gestion des volumes de premier flot et à une réduction de la pollution du milieu récepteur en ne traitant que le volume initial de ruissellement qui est le plus pollué.

Rappelons qu'aujourd'hui, la représentation du phénomène de premier flot par un paramètre unique peut permettre de conclure rapidement sur sa présence ou son absence. Dans la circonstance il serait possible de mettre en œuvre des stratégies et des mesures pour effectuer la réhabilitation environnementale et la réduction d'effluents pollués sur la base de cette connaissance. Toutefois il faudrait procéder à un monitoring environnemental de l'effluent et l'assister à l'aide d'un système de gestion en temps réel (GTR).

Les correctifs à apporter au réseau seraient divisés en cinq catégories:

- installer des restrictions aux débits permettant de contrôler et de limiter les débits en provenance des puisards;
- installer un réseau de sub-surface permettant l'acheminement des eaux de débordement en surface vers des zones de contrôle;
- mettre en place quelques correctifs à même le réseau de conduites existantes de manière à abaisser la ligne piézométrique aux endroits critiques;
- emmagasiner les eaux de débordement en surface dans des zones de contrôle;
- mettre en place un système de mesure en continu de la qualité des eaux.

#### **4.1.8 Solution choisie**

C'est finalement l'option d'une restructuration du réseau qui a été retenue. À cette fin l'égout existant devra être dans l'ensemble conservé et converti en pseudo domestique. Notons qu'il collectera les eaux sanitaires, les drains des toits plats déjà directement drainés ainsi qu'une petite quantité de débits d'eaux pluviales qui ne seraient pas déviées vers un nouveau réseau d'égouts de sub-surface, figure 29.

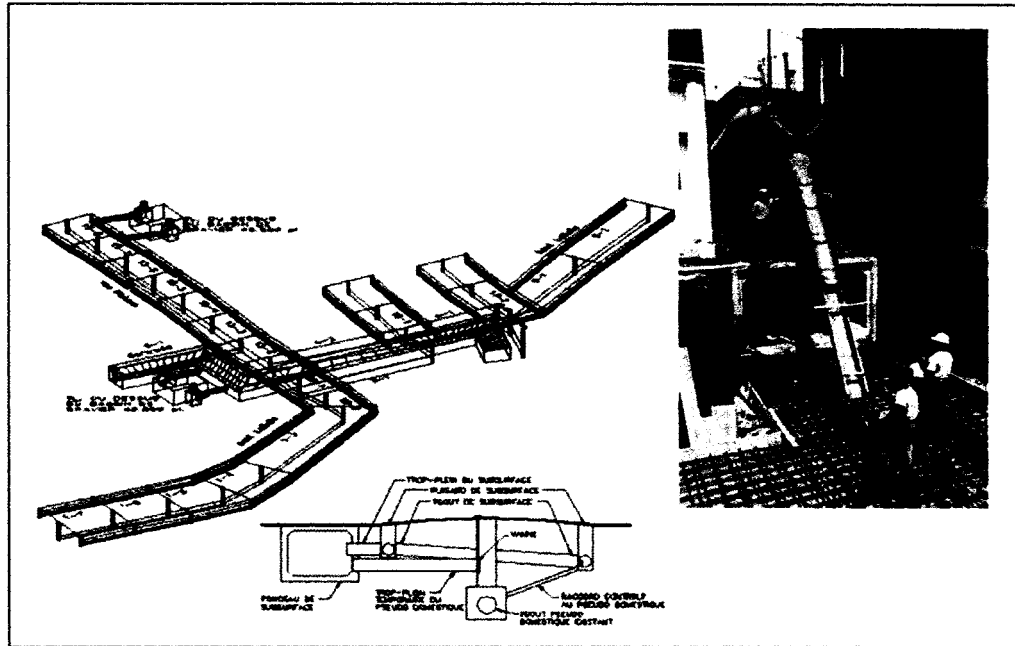


Figure 29 Réseau de sub-surface

En effet, afin d'éviter les inondations et les débordements, l'aménagement d'un nouveau réseau de sub-surface vise à contrôler les volumes d'eau de ruissellement retrouvés en surface lors d'une pluie et avant même qu'ils ne puissent être captés par le réseau d'égout combiné existant.

Ces dérivations par l'intermédiaire du réseau de sub-surface visent à contrôler et conserver sous un niveau critique le profil ou la surcharge hydraulique que l'on retrouve dans les conduites d'égouts existantes.

Parallèlement, des réservoirs de rétention pluviaux furent construits pour écrêter les eaux issues du réseau de sub-surface pour qu'ils puissent recevoir temporairement le trop-plein du réseau.

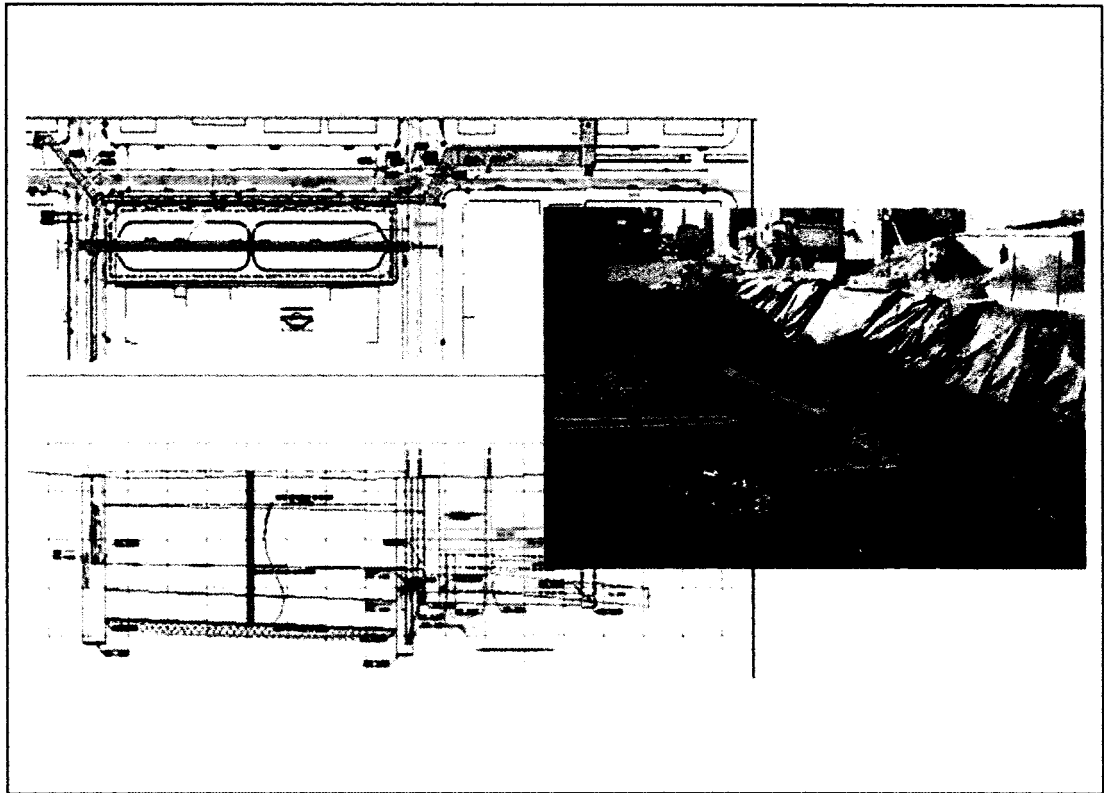


Figure 30 Réservoirs de rétention souterrains en gravier

Le nouveau réseau d'égouts pluvial est donc peu profond et il fonctionne grâce au trop-plein de structures de contrôle qui se situent dans les puisards, d'où ce qualificatif de réseau de sub-surface.

La figure 31 montre comment le réseau de sub-surface est déployé sur l'ensemble du bassin suivant le plan directeur de restructuration établi. La mise en place du réseau de sub-surface sur le bassin Rhéaume introduit éventuellement la possibilité d'un abandon sinon total du moins partiel de la station de pompage.

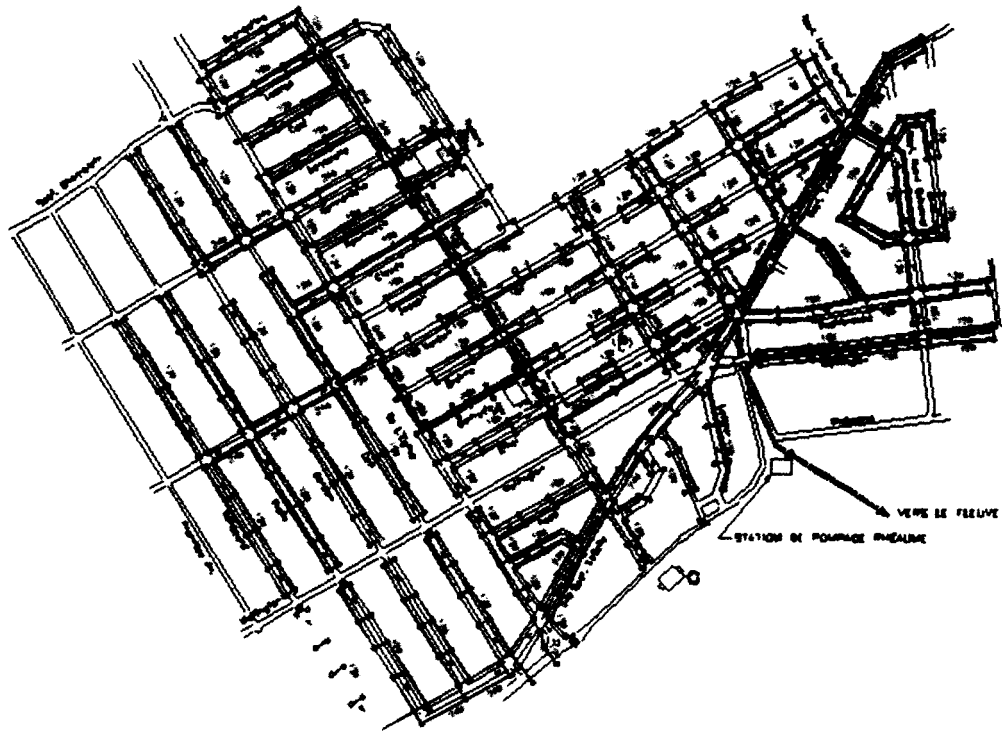


Figure 31 Restructuration et réseau de sub-surface

De plus en aval de la station de pompage la structure de régulation de la CMM vers l'intercepteur sud limite le débit à 4.25 m<sup>3</sup>/s. Face à une pluie de 1/5 ans ce débit atteint 12 m<sup>3</sup>/s. Si on désire éviter les inondations et puisqu'il faut s'assurer en toutes circonstances que les volumes d'eaux usées supérieurs à la capacité de la station de pompage soient évacués. Il n'y a donc d'autre choix que de procéder à la construction d'un nouvel émissaire au fleuve Saint-Laurent. Ce nouvel émissaire a été construit. Il possède deux fonctions; la première de véhiculer les eaux pluviales vers le fleuve et une autre d'urgence pour véhiculer la partie excédentaire des eaux issues du réseau pseudo-domestique également vers le fleuve. Il a donc été muni d'un système régulation, tel qu'illustré à la figure 32.



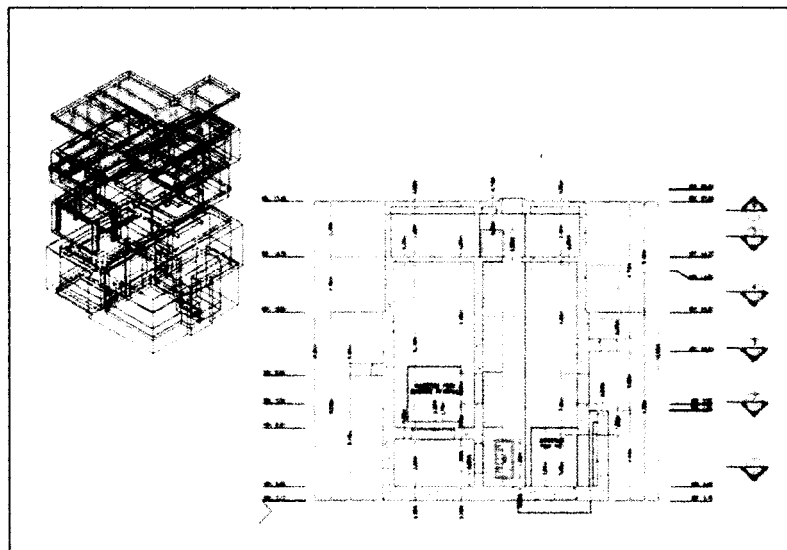


Figure 32 Puits de régulation de l'émissaire

Étant donné l'ampleur des débits mis en cause, l'envergure des obturateurs de vanne et le recours à des vitesses très rapides requises pour une conduite en temps réel, l'ouvrage de régulation a été muni d'un système d'activation hydraulique, figure 33.

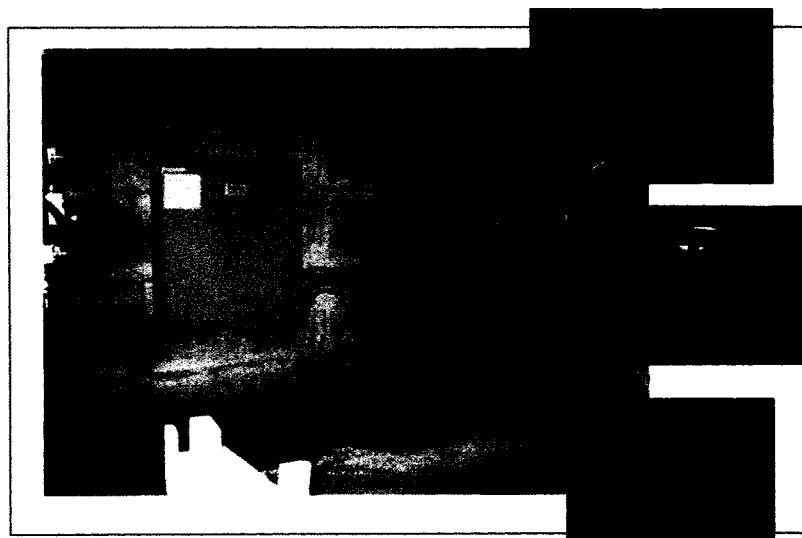


Figure 33 Unité hydraulique de régulation

Pour l'exploitation de l'ouvrage et pour assister les opérateurs celui-ci a été muni d'un système de régulation sophistiqué utilisant pour sa conduite un système de gestion en temps réel (GTR) alimenté continuellement en données par un Système de Commande et d'Acquisition de Données Automatique (SCADA). Le système de commande fut doté également d'un pluviomètre à auget, figure 34 et d'un système de commande automatique des équipements mécaniques, figure 35.

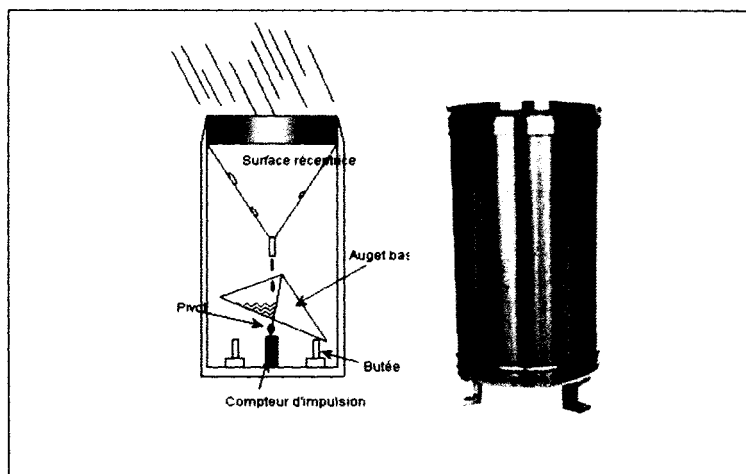


Figure 34 Pluviomètre

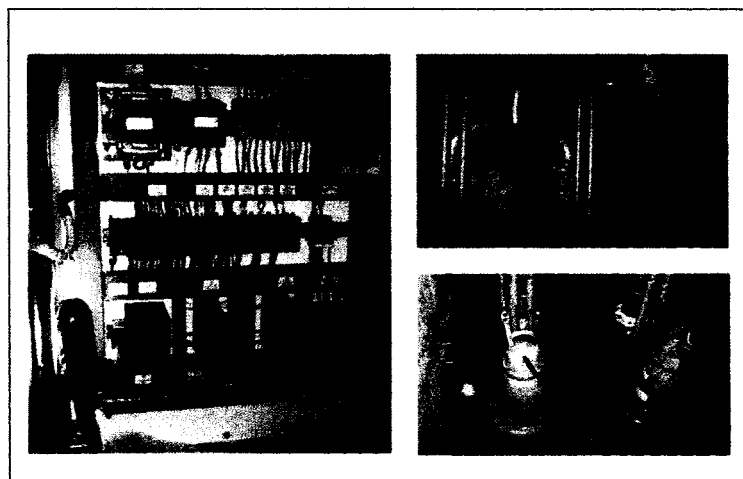


Figure 35 Commande automatique des équipements

L'équipement mis en place comprend aussi un système de monitoring continu de la qualité, figures 36 et 37. Ce système fait appel à des technologies de mesure en continu de la qualité de l'eau (sondes multi-paramètres, échantillonneurs automatiques, équipements de mesure de la DCO en continu).

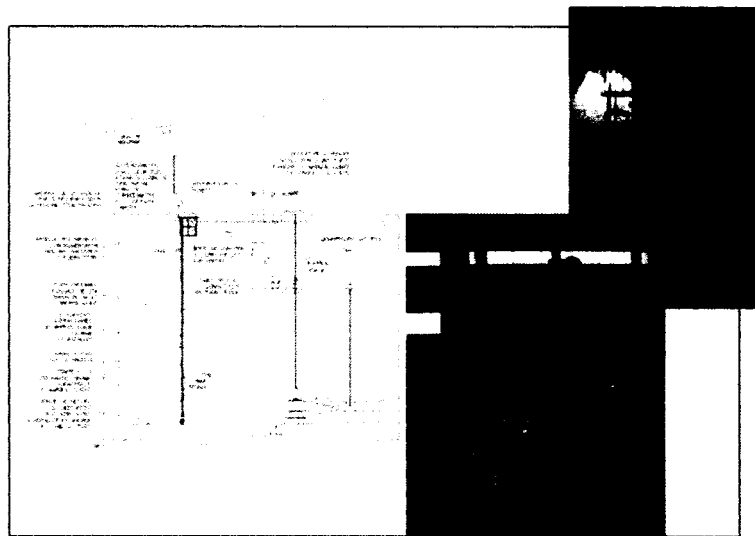


Figure 36 Système de mesure en continu de la qualité

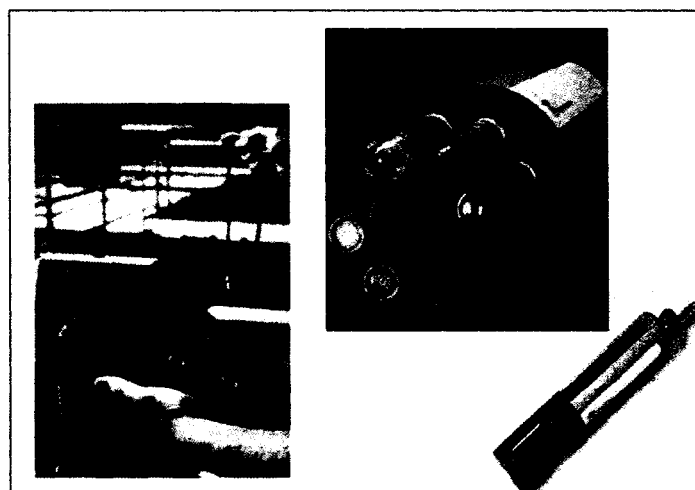


Figure 37 Sonde multi-paramètres

La sonde de mesure en continu YSI 600 multi-paramètres est celle qui a été installée à l'entrée de la station Rhéaume lors de la campagne de mesure. Cette sonde mesure la température, l'oxygène dissous, la conductivité électrique, le pH et turbidité.

Un système de mesure en continu de la demande chimique en oxygène (DCO) a aussi été installé. Il permettra d'avoir en continu la charge organique qui s'écoule dans le collecteur principal. La DCO est préférée à la mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>), car elle est moins sensible à la présence de contaminants de type industriel et est plus rapide à calibrer. Les valeurs de DCO et DBO<sub>5</sub> sont en outre corrélées. La charge organique globale déversée dans un cours d'eau est une indication très intéressante pour estimer l'impact des déversements. Particulièrement rapide et fiable cette analyse permettra une bonne estimation en temps réel des charges rejetées et éventuellement une gestion des déversements. Elle est moins sensible aux rejets industriels que la DBO<sub>5</sub> par exemple.

Pour tous ces systèmes il est également essentiel de connaître les débits. Une mesure directe et continue des débits n'est généralement pas possible. Seules les variations de hauteur d'eau en une section donnée sont enregistrées. Le passage de la mesure des hauteurs d'eau à l'estimation des débits (hydrogramme) est effectué à l'aide d'une courbe de tarage ou par l'utilisation d'une sonde de mesure des vitesses (obtention des débits en multipliant la section mouillée, mesurée par le biais de la hauteur d'eau par la vitesse mesurée).

Depuis septembre 1999, des sondes de type hauteur/vitesse modèle 4250 de la compagnie ISCO ont été installés dans la STAP, afin de mener une campagne de mesures détaillée sur le bassin versant. Une sonde hauteur vitesse ou à cinémométrie d'aire est utilisée à Verdun à l'entrée de la station de pompage Rhéaume. Le capteur est installé à la base du canal et utilise l'effet Doppler pour mesurer la vitesse moyenne du flot circulant.

De plus un capteur de pression différentiel est utilisé pour mesurer la hauteur d'eau. Il est compensé en fonction de la pression atmosphérique et de la température.

Ce type de sonde nécessite une hauteur d'eau minimale entre 5 et 7.5 cm pour la mesure des vitesses. Ces appareils ont été intégrés au système mis en place.

Les différentes composantes de la solution retenue furent mises en place au cours de la période s'échelonnant entre 2000 et 2003. Outre les aléas que l'on rencontre généralement lors de la construction de grands travaux de génie civil, ces travaux ce sont dans l'ensemble bien déroulés.

#### **4.2 Analyse des résultats et discussion**

Les résultats de cette étude furent validés par trois campagnes de mesure de caractérisation des eaux sanitaires, pluviales et unitaires.

Les différents paramètres généralement analysés lors d'une caractérisation de la qualité de l'eau sont ; les coliformes fécaux, les matières en suspension (MES), la demande en oxygène ( $DBO_5$ ), le phosphore total, le cuivre, le plomb et le zinc.

Ces campagnes menées en collaboration avec l'École de Technologie Supérieure ont fait l'objet de nombreux rapports et publications.

Un premier rapport déposé en novembre 1999 présentait les résultats bruts de la première campagne de caractérisation menée à l'époque. La figure 38 montre les résultats de la campagne de 2000 (Bennis, 2000).

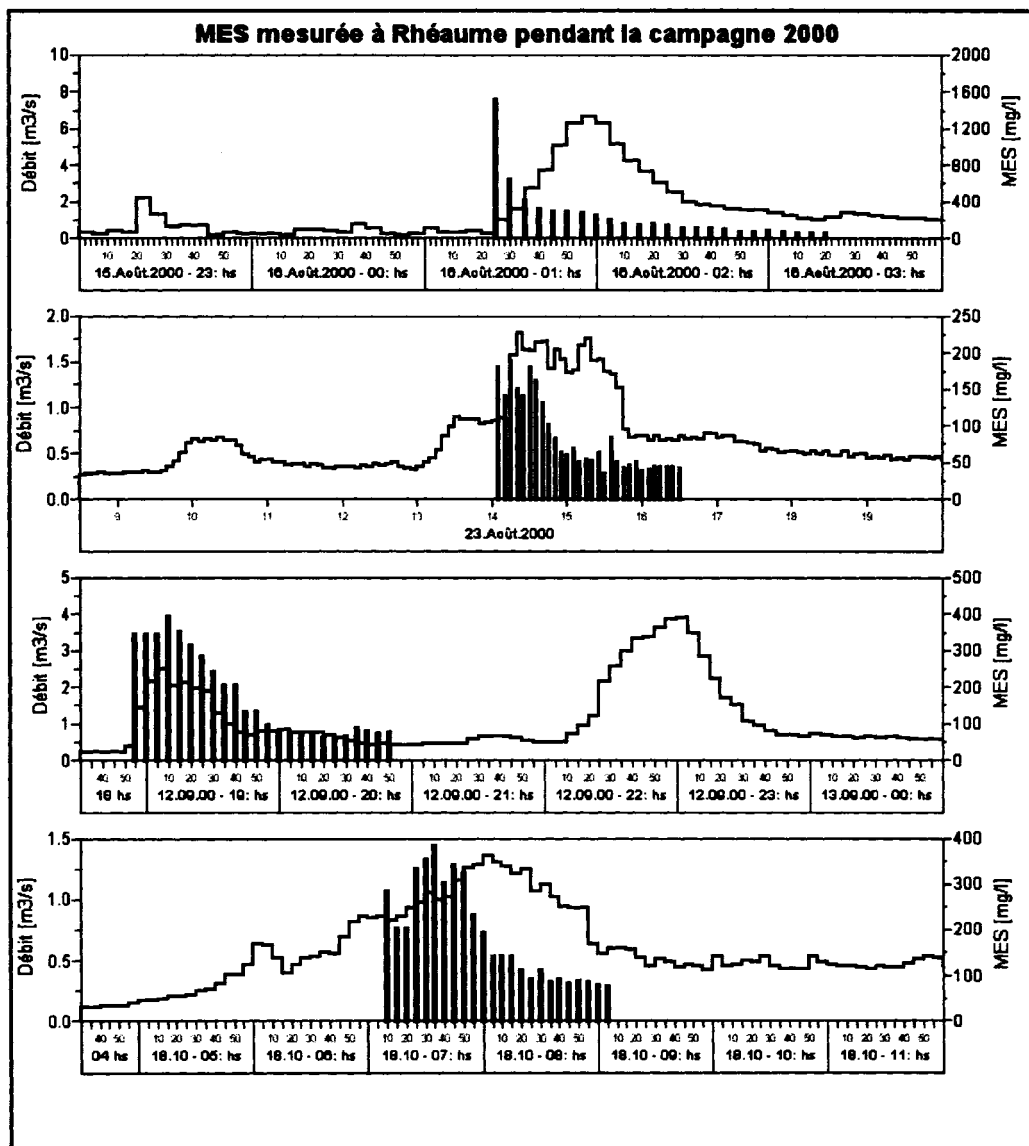


Figure 38 Campagne de mesure (Rossi, 2001)

Le but de cette première campagne de mesures était de caractériser le plus précisément possible la nature de la pollution véhiculée par les eaux pluviales et sa répartition dans le temps sur le secteur à l'étude. Les résultats ont démontré que pour ce secteur le premier flot d'orage est généralement plus concentré en matières en suspension que les eaux de temps sec.

Ces écoulements principalement inorganiques ne renferment cependant pas en quantité significative des nutriments ou des matières toxiques tels que les métaux lourds. Ainsi, lors d'une pluie suffisamment intense pour produire un premier lessivage des surfaces du bassin et des conduites on observe une décroissance très marquée des concentrations pour tous les polluants analysés.

L'existence d'un phénomène de premier flot a pu ainsi être mis en évidence pour le bassin de drainage Rhéaume grâce à des développements théoriques sur le sujet réalisés en marge de ce projet (Bennis et al., 2001).

La campagne a également démontré que la situation est presque similaire pour la pollution organique dont la source principale est l'eau sanitaire de temps sec. En début de pluie, la concentration en DBO<sub>5</sub> des eaux unitaires est voisine de la valeur mesurée en temps sec. On observe ensuite une diminution de la concentration en DBO<sub>5</sub> au fur et à mesure que le volume de dilution augmente d'une manière prévisible, en corrélation avec les résultats qui seraient prédits par l'équation de mélange. La faible concentration de BDO<sub>5</sub> rencontrée dans le réseau pluvial de sub-surface qui pour le moment reçoit le trop-plein du réseau combiné confirme ce phénomène de dilution dans le réseau combiné. Ainsi la concentration en DBO<sub>5</sub> mesurée dans le réseau pluvial de sub-surface est généralement inférieure à celle d'un effluent traité de manière secondaire. Dans le réseau de sub-surface, les eaux de ruissellement pluvial ont une concentration moyenne en DBO<sub>5</sub> de 11.5 mg/l.

Selon les données de l'USEPA (US EPA, 1993) cette concentration est considérablement plus faible que celle d'un effluent traité d'un système de traitement primaire (40 à 120 mg/l) et légèrement inférieure à celle d'un effluent traité d'un système de traitement secondaire (10 à 30 mg/l), elle est aussi de beaucoup plus faible que celle de l'effluent traité de la station d'épuration STEP de la CCM qui est approximativement de 35 mg/l.

Dans ces conditions, les concentrations en DBO<sub>5</sub> dans les deux endroits de mesure du réseau pluvial de sub-surface sont largement inférieures à la concentration en DBO<sub>5</sub> des eaux que l'on retrouve généralement dans les réseaux unitaires.

Dans la station Rhéaume où aboutissent toutes les eaux sanitaires et pluviales du secteur I, la situation est très similaire. En temps de pluie, il y a manifestement une dilution des eaux usées par les eaux de ruissellement pluviales pour la DBO<sub>5</sub>. Les concentrations mesurées en début d'événement avant que le ruissellement ne commence sont les plus fortes.

Une diminution de la concentration est observée au fur et à mesure que le volume de dilution augmente. La valeur moyenne de la DBO<sub>5</sub>, de 33 mg/l des eaux pluviales mesurée à cet endroit se situe dans la fourchette de concentration d'un effluent traité par un système de traitement secondaire (USEPA, 1993).

Comme pour la DBO<sub>5</sub>, le phosphore est surtout présent dans les eaux usées sanitaires en temps sec. Curieusement la concentration moyenne du phosphore total dans les eaux usées de temps sec à l'entrée de la station de pompage Rhéaume est aussi considérablement moins grande que la concentration à l'entrée de la station d'épuration de la CCM et correspond plutôt à la concentration en phosphore d'un effluent traité.

En ce qui concerne les métaux lourds la campagne de mesure a démontré aussi que parmi tous les métaux, seul le fer qui est le moins nocif pour l'environnement est présent d'une manière relativement significative. Les concentrations d'arsenic, de cadmium, d'étain et de mercure sont inférieures aux limites de détection et peuvent être considérées presque absentes. Le zinc, le plomb, le cuivre, le chrome et le baryum n'existent qu'à l'état de trace. On peut noter aussi que les concentrations en cuivre, plomb et zinc sont plus faibles dans le réseau de sub-surface que dans le réseau combiné.



Dans l'ensemble en temps de pluie pour les MES, la DBO<sub>5</sub> et la DCO les concentrations maximales et moyennes mesurées à l'entrée de la station de pompage Rhéaume et dans le réseau de sub-surface sont considérablement moindres que les valeurs rapportées dans la littérature, malgré que la concentration moyenne des MES à Rhéaume de 130 mg/l (eaux unitaires) en temps sec est légèrement supérieure à la concentration moyenne en temps sec obtenue lors d'autres campagnes menées au Québec de 103 mg/l.

L'analyse des résultats mesurés démontre que la restructuration du réseau est en voie de générer des concentrations de plus en plus élevées en polluants dans les effluents interceptés au point d'interception Rhéaume. Par contre, on retrouve des concentrations beaucoup plus faibles que les valeurs rapportées dans la littérature, pour des effluents traités et pour les débits susceptibles d'être rejetés au fleuve Saint-Laurent. Les correctifs contribuent ainsi à une réhabilitation environnementale du réseau.

En effet, en temps sec, le réseau existant avant la mise en place du réseau de sub-surface continuera à acheminer des eaux usées plus concentrées vers l'intercepteur pour être traitées à la station d'épuration. En temps de pluie ce réseau interceptera de plus en plus de charge polluante qui par le passé était rejetée directement au cours d'eau par la station de pompage Rhéaume.

La valeur du débit dans ce réseau pour une pluie 1/année est 2.55 m<sup>3</sup>/s. Cette valeur correspond au seuil auquel la CMM ferme actuellement la vanne et débute les déversements. La valeur du débit dans ce réseau pour une pluie de 4 fois/année est de 1.42 m<sup>3</sup>/s ce qui correspond approximativement à 3 fois le débit de temps sec.

Puisque cette valeur est inférieure à celle pour laquelle les vannes de la CMM sont fermées la fréquence des déversements des eaux combinées sera ramenée de 12.7 fois/année à moins de 4 fois/année et même possiblement à 1 fois/année.

Toujours dans le réseau unitaire existant le débit de ruissellement provenant des toitures et des drains de fondations pour une pluie de 1/10 ans est de 4.92 m<sup>3</sup>/s. Cette valeur est inférieure à la capacité de la station de pompage actuelle. Dans la mesure où le réseau de sub-surface serait déployé sur l'ensemble des tronçons il sera possible d'offrir une protection aux citoyens 1 fois/10 ans au lieu de 1/année actuellement.

En ce qui concerne les eaux pluviales provenant d'autres sources que les toitures et les drains de fondation elles seront désormais mieux gérées. Elles seront soit dérivées vers l'intercepteur en début d'orage quand leur concentration en MES est jugée néfaste et qu'on assiste au phénomène de premier flot. Par la suite au fur et à mesure qu'augmentera la dilution elles seront déversées dans le cadre d'une gestion en temps réel en harmonie avec la gestion de la CCM et basée sur des mesures en continu de paramètres de la qualité.

#### **4.2.1 Performance de la solution**

Nous examinons ici uniquement la situation à long terme où tout le réseau pluvial de sub-surface projeté est déployé.

Les principales différences entre la situation actuelle et future sont la diminution de la fréquence de déversement des eaux sanitaires et la baisse de l'occurrence des inondations.

Avant la mise en œuvre de la restructuration du réseau d'assainissement, en se basant sur une concentration moyenne en DBO<sub>5</sub> de 94.25mg/l (mesuré) et un débit de 0.5 m<sup>3</sup>/s, la charge obtenue en DBO<sub>5</sub> était de 170 kg/h. La charge moyenne annuelle en DBO<sub>5</sub> provenant des eaux sanitaires déversées était donc de 170 kg/h × 12.7 (nombre annuel de déversements) × 1h (durée moyenne des déversements) = 2160 kg/année.

Pour le phosphore en se basant sur une concentration moyenne (mesurée) de 0.53 mg/l, on pouvait établir que la charge déversée est de 1 kg/h en période de débordement. La charge moyenne annuelle en phosphore provenant des eaux sanitaires déversées est donc de 12.7 kg/année. Comme la fréquence des déversements des eaux sanitaires est réduite de façon significative avec la poursuite des travaux la charge de la DBO<sub>5</sub> et du phosphore sera diminuée en conséquence.

Ainsi avec un débordement/année des eaux sanitaires la charge en DBO<sub>5</sub> déversée sera réduite à :  $170 \text{ kg/h} \times 4\text{h} = 680 \text{ kg/année}$ . Pour le phosphore, la charge déversée sera :  $1 \text{ kg/h} \times 4\text{h} = 4 \text{ kg/année}$ .

Au niveau hydraulique l'analyse des résultats de simulation a démontré que le réseau est désormais réhabilité pour être en mesure de véhiculer sans surcharge une pluie de 1/10 ans.

De plus avec la versatilité du nouveau système de régulation et des nombreux niveaux de gestion rendus possibles par la présence du réseau de sub-surface, du système de régulation du nouvel émissaire et du système de gestion les performances seront décuplées. L'ensemble des informations nécessaires à la commande du système seront centralisées et seront disponibles à plusieurs usagers via le réseau intranet de la ville. En outre pour toutes les informations caractérisant l'état de fonctionnement des équipements, le nouveau système intégrera également les informations concernant l'ouverture et la fermeture des vannes, les hauteurs d'eau, les vitesses d'écoulement et les débits. Le système en place permettra d'opérer selon quatre modes d'opération différents à savoir :

- Temps sec;
- Temps de pluie de moyenne ou faible intensité;
- Temps de pluie de forte intensité;
- Entretien.

En temps sec le fonctionnement est fort simple, la situation qui prévalait avant la mise en place des correctifs reste inchangée. Les eaux usées domestiques issues du réseau combiné existant continueront de se déverser de façon transparente à travers la station de pompage Rhéaume vers les ouvrages d'interception.

En période de faible ou moyenne intensité de précipitation les eaux usées en provenance du réseau combiné actuel et les eaux pluviales du réseau de sub-surface seront acheminées en totalité vers les ouvrages d'interception en début de précipitation ou lorsque ces ouvrages n'auront pas atteint le débit maximum prescrit, tel qu'illustré à la figure 39. Une fois la capacité d'interception atteinte à cause de la géométrie de l'émissaire qui ne fonctionne que pas trop-plein, il peut encore permettre d'emmagasiner près de 3000 m<sup>3</sup> supplémentaires avant qu'une seule goutte d'eau ne puisse être déversée au fleuve Saint-Laurent.

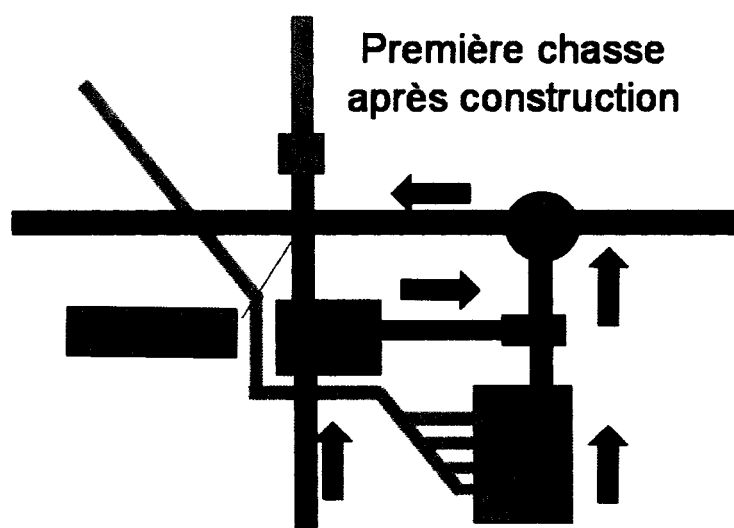


Figure 39 Interception du débit de premier flot

Pour des pluies plus intenses, les eaux usées fortement diluées refouleront éventuellement vers la Station Rhéaume qui fonctionnera d'une façon similaire à son mode actuel.

À la différence que ses départs seront moins fréquents et que les volumes qui y transitent seront beaucoup plus faibles. Il faut noter que le démarrage de la Station de pompage générera une pression dans l'émissaire existant qui fermera le clapet d'isolement dans le nouveau puits de régulation, empêchant ainsi tout refoulement après que les eaux de première chasse furent acheminées vers les ouvrages d'interception, tel qu'illustré à la figure 40.

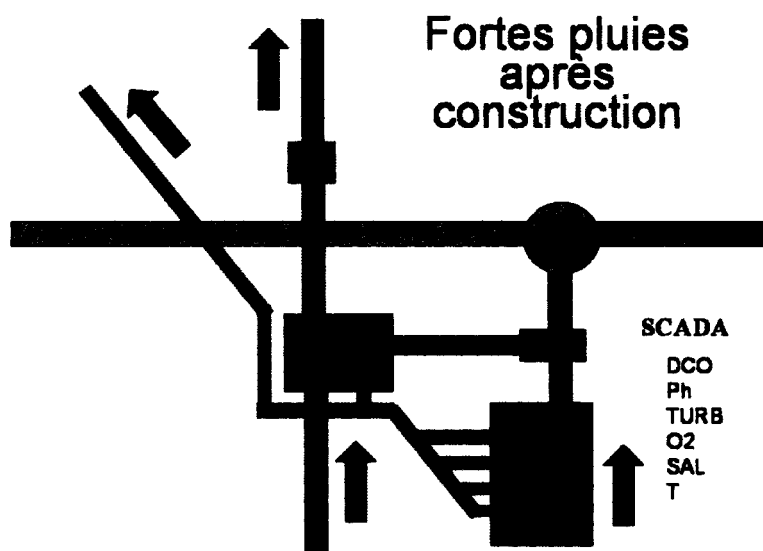


Figure 40 Isolement des émissaires

Lors de pluie de fortes intensités, les eaux pluviales de tout le bassin se déverseront via le nouvel émissaire et les eaux usées combinées seront pompées vers l'émissaire existant. Si l'intensité des précipitations augmente encore au point d'excéder la capacité de la Station Rhéaume, les eaux pourront se déverser encore par trop-plein de la station de pompage vers le nouvel émissaire.

Le dernier mode d'opération défini est celui associé à l'entretien du nouvel émissaire. Ce mode requiert principalement que le système de ventilation mécanique soit mis en marche pour permettre au personnel d'entretien d'accéder à l'ouvrage de façon sécuritaire.

Après une pluie une station de vidange de 120 litres/sec permet de vider l'émissaire en environ 7 heures. Une fois celui-ci vidé et ventilé le personnel aura accès à l'ensemble de la structure pour les inspections et l'entretien. L'ouvrage est éclairé et il est muni également de systèmes pouvant détecter la présence de gaz nocifs ou explosifs, d'ancrages et grilles de sécurité pour le personnel. Le personnel a accès via un édicule en permanence et à sec à la vanne de régulation, au clapet d'isolement et à la station de vidange ainsi qu'au système de ventilation.

L'étude d'un projet d'envergure a permis d'atteindre les objectifs suivants:

- Identifier les sources du manque de capacité hydraulique et des débordements en temps de pluie.
- Analyser les méthodes existantes et les nouvelles tendances de gestion des eaux pluviales pour résoudre ces problèmes et mettre en lumière les limites de ces approches.
- Offrir des alternatives de solutions pour combler ces lacunes en tenant compte des contraintes techniques, technologiques, budgétaires, sociales et environnementales dans les villes.
- Concevoir, modéliser et valider une approche originale de restructuration sur un cas typique de réseaux d'assainissement.

Le projet a permis d'élaborer une approche novatrice et efficace de restructurations hydrauliques et environnementales des réseaux d'assainissement en vue de la réhabilitation de réseaux existants. La municipalité sera en mesure de réduire les inondations dans ce quartier et de se conformer aux exigences réglementaires pour les débordements au fleuve Saint Laurent.

Grâce au système mis en place il est désormais possible d'effectuer un contrôle efficace des eaux de première chasse et d'étiage fortement polluées et fortement chargées de particules en suspension.

Ces eaux seront drainées à l'intercepteur et seront traitées à l'usine contrairement aux réseaux séparés où les eaux pluviales sont obligatoirement et immédiatement drainées au cours d'eau sans traitement. Cette situation constitue un gain environnemental important par rapport aux systèmes classiques. La fréquence des déversements des eaux combinées sera ramenée de 12.7 fois/année à moins de 4 fois/année et même possiblement à 1 fois/année.

Par rapport à la situation avant la restructuration, il n'y aura plus de surplus d'eau pluviale déversé dans le fleuve à moins que des contraintes environnementales l'imposent pour pouvoir intercepter des eaux plus polluées dans d'autres sites de régulation.

#### **4.2.2 Généralisation**

À l'échelle locale, un gain environnemental important est obtenu grâce à la réalisation du projet qui permettra une diminution de la fréquence et de la charge de pollution qui sera évacuée au fleuve par une réduction significative de la fréquence des débordements d'eaux usées au point de rejet Rhéaume. Le projet a donc permis une mise en conformité de ce point de rejet aux objectifs visés et aux exigences relatives aux déversements dans les cours d'eau.

À l'échelle régionale, le projet aura comme effet immédiat de discriminer les volumes d'eau de ruissellement issus de ce territoire et véhiculés par les intercepteurs vers la station d'épuration, réduisant ainsi les impacts générés par ce point d'interception sur les ouvrages régionaux et dans les cours d'eau. Rappelons que le mode de fonctionnement par gravité de l'émissaire permet en particulier une rétention des eaux d'environ 3000 m<sup>3</sup> à même l'émissaire avant qu'il ne se déverse dans les ouvrages d'interception ou qu'il ne produise un débordement au fleuve.

Cette capacité à elle seule permettra d'économiser près d'un demi million de dollars, ce montant étant équivalent au coût pour la construction d'un réservoir de rétention qu'il ne sera plus nécessaire de construire ailleurs sur le réseau pour produire le même résultat.

La restructuration du réseau d'assainissement du bassin Rhéaume aura un impact positif sur les nouvelles façons de faire. Il peut avoir un effet d'entraînement car il y a un côté exemplaire au projet autant du point de vue de la gestion et de l'opération des ouvrages d'assainissement que des objectifs en matière de respect de l'environnement.

Cet effet d'entraînement peut amener d'autres arrondissements à réaliser des travaux similaires. Par effet cumulatif, il serait possible d'obtenir à l'échelle de la région métropolitaine une réduction majeure des volumes et des charges polluantes déversés dans les cours d'eau récepteurs qui pourrait atteindre 60% si on se base sur l'extrapolation des résultats obtenus lors de cette étude.

De plus, puisque ces travaux s'inscrivent également en complémentarité des efforts des opérateurs de la station d'épuration de Montréal qui ont mis en œuvre un système de contrôle intégré des intercepteurs (CIDI). Ce système, basé sur des modèles hydrologiques calés à l'aide de mesures dans les réseaux, permettra un contrôle en temps réel optimal et prédictif (CTROP) plus performant que le contrôle réactif local existant lors des épisodes pluvieux.

Le système installé dans le cadre de cette recherche, puisqu'il fait appel à la mise en place de technologies de mesure en continu de paramètres associés à la qualité de l'eau, constitue une vitrine technologique, une démonstration de ce qui pourrait être réalisé à plus long terme à l'échelle des ouvrages d'interception.



### 4.2.3 Perspectives

Le contexte actuel offre une opportunité pour que les développements réalisés lors de cette recherche s'intègrent dans une stratégie plus globale et intégrée à plus grande échelle. De nos jours avec l'avènement des pratiques de gestion optimale et intégrées de nombreux experts affirment que le recours à des approches de gestion intégrées systémiques et globales, faisant appel à des techniques de contrôle en temps réel des déversements sont des moyens efficaces.

Les développements récents qui touchent l'utilisation d'équipements de monitoring pour la gestion en temps réel des débordements sont significatifs et ils furent également validés lors de l'étude pilote réalisée dans le cadre de cette recherche.

Ces équipements de régulation et le système de monitoring de la qualité (SMER) installés dans le bassin Rhéaume lors de ce projet doivent maintenant être incorporés au système de contrôle en temps réel optimal et prédictif des intercepteurs de la ville de Montréal. Toutefois ces nouveaux éléments de régulation ne sont pas encore considérés dans une stratégie d'optimisation globale à l'échelle des intercepteurs qui serait basée sur la qualité de l'eau.

Actuellement l'élément qualitatif n'est pas pris en compte ni maîtrisé à cause des difficultés touchant la mesure de certains paramètres. L'optimisation qualitative constitue donc toujours un véritable défi qui demeure à être relevé dans le cadre d'un projet de recherche ultérieur.

L'objectif principal d'un tel projet de recherche consisterait à développer les méthodologies requises à l'élaboration d'un système de gestion en temps réel basé sur des mesures en continu de la qualité des eaux pour l'estimation, la validation, la prévision et la gestion des eaux de débordement en milieu urbain en temps de pluies.

De nombreux articles et conférences au cours des dernières années ont abordés cette problématique (Adderley & Mandilag, 2002),(Andersen, Harremoes, Sorensen, & Andersen, 1997),(S. Bennis & Temimi, 2002), (Campisano & Modica, 2002), (Chocat, Krebs, Marsalek, Rauch, & Schilling, 2001), (Colas et al., 2004), (Field, 2004), (Fujita, 2002), (Heaney et al., 1999), (Maeda, Mizushima, & Ito, 2005), (Jiri Marsalek, Kok, & Colas, 2004), (Newman, Rozelman, Gibbons, Vitasovic, & Kerr, 2002), (Pleau et al., 2005), (Ruban, Joannis, Zug, Blanchet, & Cohen-Solal, 2002), (Manfred Schutze et al., 2004), (Stirrup, Vitasovic, & Strand, 1997), (Temimi & Bennis, 2002), (Weyand, 1996).

Le système de monitoring de la qualité, installé dans le cadre de la présente étude et qui fait appel à des technologies de mesure en continu de la qualité de l'eau pourrait être utilisé comme laboratoire in situ. La poursuite des recherches permettrait le développement des outils requis à l'implantation d'une approche qualité (charges de polluants déversées) pour le contrôle des débordements des ouvrages d'assainissement en temps de pluie.

Ces recherches pourraient inclure les activités suivantes :

- le développement d'un modèle de qualité des eaux usées en temps de pluie à partir des données du système de monitoring de la qualité;
- le développement d'un mode de gestion en temps réel optimal des ouvrages de régulation basé sur la qualité des eaux d'orage.

Dans le domaine de l'optimisation des consignes de gestion en temps réel, quelques tentatives à travers le monde ont été amorcées pour minimiser les volumes déversés. Lors de la commande à distance les organes de régulation c'est-à-dire les vannes doivent être positionnées par un opérateur ou par un programme automatique de contrôle. Ceux-ci fixent l'ouverture des vannes à des positions que l'on voudrait optimales pour minimiser les déversements en regard des conditions qui prévalent sur l'ensemble du réseau et pour toute la durée de l'événement.

L'objectif du contrôle par cette méthode peut être caractérisé par une fonction objective d'optimisation qui permet de minimiser la somme des volumes déversés pour toute la durée de l'événement et pour l'ensemble des régulateurs. Suivant cette approche le problème réside dans le choix d'une action à entreprendre à chacun des régulateurs pour un intervalle de temps donné, choix qui permettront selon la stratégie d'interception prévue pour l'ensemble des régulateurs, de minimiser l'impact des déversements.

Malgré cela, cet impact dépend non seulement des volumes déversés mais également de la charge de pollution véhiculée dans les réseaux et de la sensibilité du milieu récepteur. Toutefois, à notre connaissance, il n'existe actuellement aucun modèle qui base ses prises de décision de délestage sur des mesures en temps réel et des paramètres de la qualité. Pour relier les deux aspects quantitatif et qualitatif de ruissellement urbain par une expression simple qui fait intervenir des paramètres accessibles en temps réel, le modèle dynamique doit mettre à jour les paramètres estimés au pas du temps précédent et prévoir les charges futures avec les paramètres réajustés et validés à l'aide des mesures en continu de la qualité. Le modèle dynamique utilise ainsi l'information passée et présente pour prévoir les charges futures et ainsi piloter les organes de régulation et mieux gérer les débits et les déversements. À cette fin les débits et les charges mesurés seraient considérés comme des paramètres prévus pour ainsi les introduire dans la fonction objective du modèle de la qualité par le biais de différents paramètres de caractérisation des eaux mesurés en continu tel que la DCO, la conductivité, la turbidité ou autres.

Les retombées de telles recherches seraient considérables tant du point de vue de l'amélioration des performances fonctionnelles et environnementales des ouvrages d'assainissement que du point de vue économique. L'utilisation de ces approches de gestion laisse entrevoir des économies de plus de 50% sur les coûts de traitement des eaux usées tandis que le gain environnemental associé à la récupération des usages des cours d'eau est inestimable.

## CONCLUSION

Le but initial de ce travail était d'identifier et d'apporter des solutions aux diverses problématiques liées à la présence dans les villes d'anciens réseaux d'assainissement conçus selon le principe du tout à l'égout et qui ne sont plus en mesure en temps de pluie de desservir les populations sans risquer de les inonder et de déverser des polluants dans l'environnement.

Cette étude indique que la principale cause associée à cette problématique est une augmentation du débit de l'effluent rattachée à un développement urbain supérieur aux prévisions lors de l'urbanisation d'un territoire. La pollution est engendrée par les déversements des surplus bruts d'eaux pluviales mélangées avec des eaux usées, qui font perdre aux cours d'eau la plupart de leurs usages.

La conception et le respect de certains critères de performance ont été analysés en fonction de la problématique générale associée aux défaillances hydrauliques et environnementales des réseaux d'assainissement en tenant compte en plus des préoccupations touchant leurs gestion, entretien et réhabilitation.

Cette recherche a démontré qu'on ne peut se limiter à une analyse à l'échelle des conduits et qu'il est nécessaire d'élargir la définition de la réhabilitation à l'échelle du réseau. Elle permet d'entrevoir toute une série d'alternatives de solutions pour redonner à un réseau d'assainissement désuet ses pleines fonctionnalités et donc de le réhabiliter. Ces alternatives regroupent les pratiques de gestion optimales des eaux pluviales (PGO) et la gestion dynamique en temps réel (GTR). L'utilisation extensive des nouvelles technologies de l'information et d'automatisation et le recours à une approche urbistique contribuent aussi à une restructuration bénéfique des réseaux.

La restructuration des réseaux d'assainissement selon ce modèle devient une alternative envisageable pour pallier les méthodes plus traditionnelles de construction des réseaux. Elle permet de les substituer par des infrastructures plus versatiles qui intègrent des fonctionnalités de contrôle et de monitoring en support aux activités d'entretien et de suivi.

Le concept original de réhabilitation hydraulique et environnementale par la mise en place dans les milieux fortement urbanisés des grandes agglomérations, d'un réseau de sub-surface assisté de techniques de contrôle en temps réel pour minimiser les déversements a été validé lors de l'étude pilote réalisée dans le cadre de cette recherche.

Ce système fait appel à des technologies de mesure en continu de la qualité de l'eau. Il pourrait être utilisé comme laboratoire in situ pour des études ultérieures sur le développement des outils nécessaires à l'implantation d'une approche de contrôle des débordements des ouvrages d'assainissement en temps de pluie basé sur des mesures en continu de la qualité.

Ainsi, le modèle proposé et réalisé au cours de cette recherche intègre au sein de l'infrastructure mise en place, un système intégré de gestion aux possibilités considérablement élargies (connaître, comprendre, agir et transmettre) étant supporté par un système de monitoring, un système d'acquisition et de traitement de l'information ainsi qu'un système expert d'aide à la décision.

Les équipements de régulation et le système de monitoring de la qualité (SMER) installés dans le bassin Rhéaume lors de ce projet seront maintenant incorporés au système de contrôle en temps réel optimal et prédictif des intercepteurs de la ville de Montréal. Ils permettront d'optimiser l'offre de service en regard des activités d'exploitation de façon à répondre aux attentes qui seront exprimées sous forme d'indicateurs de performances, spécialement pour le réseau concerné.

## BIBLIOGRAPHIE

Adderley, V., & Mandilag, A. (2002). *Portland's CSO program modeling: Reflecting the City's priorities for CSO and stormwater pollutants using real time controls*. Paper presented at the Proceedings of the Ninth International Conference on: Urban Drainage, Sep 8-13 2002, Portland, OR, United States.

Andersen, N. K., Harremoes, P., Sorensen, S., & Andersen, H. S. (1997). Monitoring and real time control in a trunk sewer. *Water Science and Technology Proceedings of the 1996 7th IAHR/IAWQ International Conference on Urban Storm Drainage, Sep 9-13 1996*, 36(8-9), 337-342. BAPE. (2000). *L'eau, ressource à protéger, à partager et à mettre en valeur* (No. 142). Québec.

Baptista, M., Barraud, S., Alfakih, E., Nascimento, N., Fernandes, W., Moura, P., et al. (2005). Performance-costs evaluation for urban storm drainage. *Water Science and Technology*, 51(2), 99-107.

Bengassem, J. (2001). *Élaboration d'un système d'aide au diagnostic hydraulique et structural des réseaux d'assainissement urbains*. École de technologie supérieure, Université du Québec, Montréal.

Bennis. (2000). Rapport de la campagne de mesure du Bassin Rhéaume à Verdun. In C. aviseur (Ed.), *Texte inédit, présenté dans le cadre du projet de réhabilitation du bassin hydrographique Rhéaume à Verdun*. Arrondissement Verdun, Ville de Montréal.

Bennis. (2002). Hydraulic performance index of a sewer network.

Bennis, H, T., & F, B. (2001). Phénomène du premier flot : mythe ou réalité. *Vecteur Environnement*, vol. 34.,(No. 1), 33-42.

Bennis, S. (2004). *Développement de méthodologies et conception d'un logiciel de validation et de prévision des débits et des concentrations de polluants en milieux urbain et rural* (Rapport synthèse de recherche): École de technologie supérieure.

Bennis, S., & Temimi, M. (2002). *Real time control to manage sewer systems*. Paper presented at the Third International Conference on Management Information Systems Incorporating GIS and Remote Sensing, MIS 2002, Apr 24-26 2002, Halkidiki, Greece.

Brière, F. G. (2000). *Distribution et collecte des eaux, deuxième édition*: Presses internationales Polytechnique.

- Brouillette, D. (2001). Le contrôle des débordements de réseaux d'égouts en temps de pluie au Québec. *Vecteur environnement, Volume 34*,(numéro 1).
- Burton, J. (2001). *Gestion intégrée des ressources en eau par bassin - Manuel de formation*: Agence intergouvernementale de la francophonie.
- Campisano, A., & Modica, C. (2002). *P units calibration for the RTC of sewer collectors using a dimensionless approach*. Paper presented at the Proceedings of the Ninth International Conference on: Urban Drainage, Sep 8-13 2002, Portland, OR, United States.
- Environnement Canada. (1996). *L'approche écosystémique: au-delà de la rhétorique*. Ottawa,: Canada.
- Cardoso, M. A., Coelho, S.T., Matos, J.S., Matos R.S. (1999). *A new approach to the diagnosis and rehabilitation of sewerage systems through the developpement of performance indicators*. Paper presented at the Proceedings of 8th international conference on urban storm drainage., Sydney, Australia.
- Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.*, JO L 327 Sess. (2000).
- CERIU. (1999). *Intégration de la gestion des infrastructures urbaines, guide d'utilisation du cadre de référence. Rapport technique*, . Montréal, Canada.
- Charron, A. (1994). *Calibration des modèles: méthode et résultats implicites*. Paper presented at the Colloque sur le drainage urbain., Montréal, Canada.
- Chocat, B., Desbordes, M., & BreLOT, E. (2005). Editorial: Novatech 2004 - Synthesis of 3 years of scientific and technical advances in urban water management. *Water Science and Technology*, 51(2), VII-XIV.
- Chocat, B., Krebs, P., Marsalek, J., Rauch, W., & Schilling, W. (2001). Urban drainage redefined: From stormwater removal to integrated management. *Water Science and Technology*, 43(5), 61-68.
- Colas, H., Pleau, M., Lamarre, J., Pelletier, G., & Lavallée, P. (2004). Practical perspective on real-time control. *Water Quality Research Journal of Canada*, 39(4), 466-478.
- CUM. (2001). *Règlement relatif aux rejets des eaux usées dans les réseaux d'égout et les cours d'eau (Règlement 87)*. <http://www.cum.qc.ca/cum-fr/air-eau/reglairf.htm>.

Deveau, D. (2001). *Système de gestion intégrée des infrastructures urbaines, élaboration du module de gestion des réseaux d'assainissement.*, Université de Sherbrooke, Sherbrooke.

Dion, Y. (2000). *Verdun (Canada) : an approach for use in decision making process relative to urban infrastructure.* Paper presented at the 2nd international conference on Decision Making in Urban and Civil Engineering (DM in UCE), Lyon, France.

Dion, Y., Bennis, S., Langevin, P. (2005). *Perspective d'une gestion des débordements basé sur une approche qualité.* Paper presented at the New trends in the Integrated Urban Development- Proceedings of the international Congress-Urbistics Montreal 2005, Montréal, Canada.

FHWA. (1999). *Asset Management Primer.* USA: U.S. Dept. of Transportation, Federal High-Way administration.

Field, R. (2004). *Sanitary-Sewer Overflow Control Strategy.* Paper presented at the Watershed Management, Proceedings of the Third International Conference, Dec 11-14 2001, Taipei, Taiwan.

Field, R., Pitt, R. E., Fan, C.-Y., Heaney, J. P., Stinson, M. K., DeGuida, R. N., et al. (1997). Urban wet-weather flows. *Water Environment Research*, 69(4), 426-444.

Forget D., D. H. (2000). *La pollution en temps de pluie sur le territoire de la communauté urbaine de Montréal. Sommaire exécutif.* Montréal.

Fujita, S. (2002). *A scenario for the modernization of urban drainage.* Paper presented at the Proceedings of the Ninth International Conference on: Urban Drainage, Sep 8-13 2002, Portland, OR, United States.

Heaney, J. P., Wright, L., Sample, D., Field, R., & Fan, C.-Y. (1999). *Innovative wet-weather flow collection/control/treatment systems for newly urbanizing areas in the 21st century.* Paper presented at the Engineering Foundation Conference: Sustainable Urban Water Resources in the 21st Century, Sep 7-Sep 12 1997, Malmo, Swed.

Hernebring, C., Jonsson, L.-E., Thoren, U.-B., & Moller, A. (2002). Dynamic online sewer modelling in Helsingborg. *Water Science and Technology*, 45(4-5), 429-436.

Huber W.C., D. R. E., Roesner L.A. Aldrich J. A. (1988). *SWMM manuals, based on the USEPA SWMM4 user's manual.* CHI Publication.

InfraGuide. (2003). *Contrôles à la source et sur le terrain pour les réseaux de drainage municipaux.* . (Mars 2003 ed. Vol. 4). Ottawa, Canada: Comité conjoint CNRC-Fédération canadienne des municipalités.



- Konaré, D. (2001). Conception d'un système d'exploitation générique pour infrastructures urbaines mobiles multimédias. *Mémoire de maîtrise de l'École polytechnique de Montréal, Canada.*
- Kroa, A. (1993). *Couplage de systèmes experts et de méthodes connexionnistes pour la gestion en temps réel de réseaux d'assainissement.* Unpublished Thèse de doctorat, Lyon, France.
- Maeda, M., Mizushima, H., & Ito, K. (2005). Development of the real-time control (RTC) system for Tokyo sewage system. *Water Science and Technology*, 51(2), 213-220.
- Marquez. (1998). Exploitation des réseaux d'assainissement : outils d'information sur le fonctionnement de la téléexploitation et de la télégestion. *Séminaire de formation continue*(Institut national du génie urbain de Lyon, France.).
- Marsalek, J., & Chocat, B. (2002). International report: Stormwater management. *Water Science and Technology*, 46(6-7), 1-17.
- Marsalek, J., Kok, S., & Colas, H. (2004). Managing urban wet-weather flows: On the road to sustainability. *Water Quality Research Journal of Canada*, 39(4), VI-VII.
- Newman, T., Rozelman, S., Gibbons, S., Vitasovic, C., & Kerr, J. (2002). *Analysis of operational strategies and real time control in an urban sewer network.* Paper presented at the Proceedings of the Ninth International Conference on: Urban Drainage, Sep 8-13 2002, Portland, OR, United States.
- Pleau, M., Colas, H., Lavalley, P., Pelletier, G., & Bonin, R. (2005). Global optimal real-time control of the Quebec urban drainage system. *Environmental Modelling and Software*, 20(4 SPEC ISS), 401-413.
- Pleau, M., Methot, F., Lebrun, A. M., & Colas, H. (1996). Minimizing combined sewer overflows in real-time control applications. *Water Quality Research Journal of Canada*, 31(4), 775-786.
- Québec. (1989). Directive 004, Réseaux d'égouts. In MENVQ (Ed.).
- Quintero, A., Konare, D., & Pierre, S. (2005). Prototyping an intelligent decision support system for improving urban infrastructures management. *European Journal of Operational Research, Decision-Aid to Improve Organisation Performance*, 162(3), 654-672.
- Revaz. (2001). *La gestion énergétique d'une ville Suisse: Martigny.* Paper presented at the Colloque Ville, énergie et environnement, Beyrouth. Liban.

- Revaz, & Dion. (2000). *L'approche systémique, les télétransmissions, la micro-informatique au service du génie urbain*. Paper presented at the 2nd international conference on Decision Making in Urban and Civil Engineering (DM in UCE), Lyon, France.
- Rivard, G. (1998). *Gestion des eaux pluviales en milieu urbain : concepts et applications*. Québec.
- Roesner, L. A., & Traina, P. (1994). Overview of federal law and USEPA regulations for urban runoff. *Water Science and Technology*, 29(1-2), 445-454.
- Rossi, L. (2001). *Développement d'un système intégré d'exploitation (SIDEX) en assainissement urbain basé sur une approche urbistique. Application à la ville de Verdun (Canada)* (Rapport de stage post-doctoral). Montréal: École polytechnique de Montréal.
- Ruban, G., Joannis, C., Zug, M., Blanchet, F., & Cohen-Solal, F. (2002). *Evaluation of discharges by CSO's from water depth measurements: Case study of a frontal weir with varying crest elevation and backwater effect*. Paper presented at the Proceedings of the Ninth International Conference on: Urban Drainage, Sep 8-13 2002, Portland, OR, United States.
- Schutze, M., Butler, D., Beck, M. B., & Verworn, H.-R. (2002). Criteria for assessment of the operational potential of the urban wastewater system. *Water Science and Technology*, 45(3), 141-148.
- Schutze, M., Campisano, A., Colas, H., Schilling, W., & Vanrolleghem, P. A. (2004). Real time control of urban wastewater systems - Where do we stand today? *Journal of Hydrology, Urban Hydrology*, 299(3-4), 335-348.
- Stirrup, M., Vitasovic, Z., & Strand, E. (1997). Real-time control of combined sewer overflows in Hamilton-Wentworth region. *Water Quality Research Journal of Canada*, 32(1), 155-168.
- Storelli, Dion, & Claivaz. (1999). Émergence de l'urbistique, systémique et télécommunication au service de l'eau et du gaz. *Revue gwa, Société suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux, Zurich, Suisse*.(12/99).
- Temimi, M., & Bennis, S. (2002). Prédiction en temps réel des charges de polluants dans un réseau d'assainissement urbain Real-time forecasting of pollutant loads in sewer networks. *Revue des Sciences de l'Eau*, 15(3), 661-675.
- UDFCD. (1992). *Best Management Practices* (Vol. Volume 3). Denver (Colorado).

US EPA. (1993). *Manual for combined sewer overflow control*. . Cincinnati, USA.

Weyand, M. (1996). Monitoring runoff conditions in a combined sewer system: experience and results of ten years' application. *Water Science and Technology Proceedings of the 1995 IAWQ Specialized Conference on Sensors in Wastewater Technology, Oct 25-27 1995*, 33(1), 257-264.

WRC. (2001). *Sewage rehabilitation manual* (Fourth edition ed.).

XP-Software. (2000). XP-SWMM : Stormwater and Wastewater Management Model for Windows 95/98/NT. Orange, Ontario, Canada.