

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.

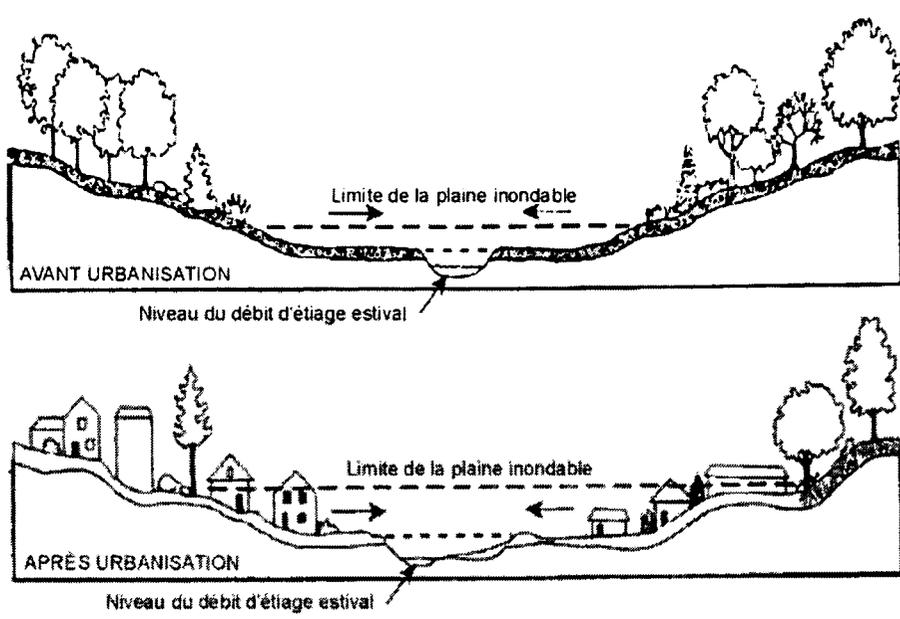


Figure 3 Modification de l'hydrologie causée par l'urbanisation (InfraGuide, 2003)

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 m³ 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.

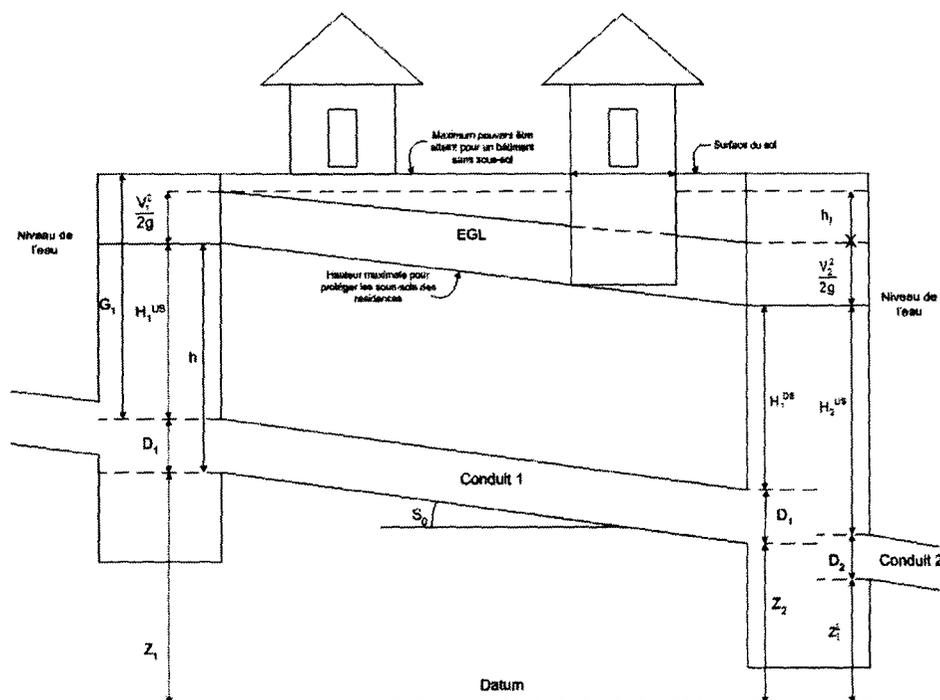


Figure 4 Mise en charge des réseaux (Bennis, 2002)

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

Classification	Implication
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.

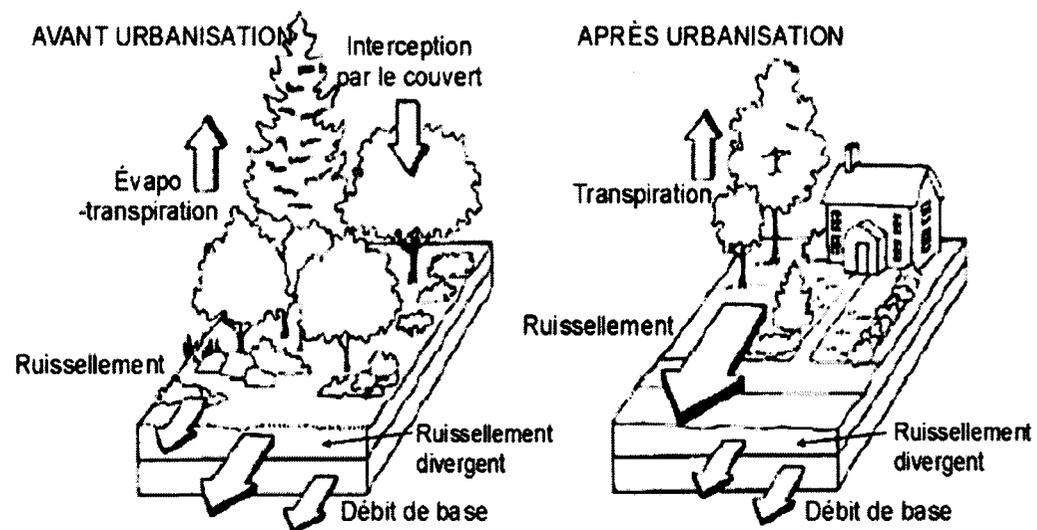


Figure 5 Ruissellement avant et après urbanisation (InfraGuide, 2003)

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.

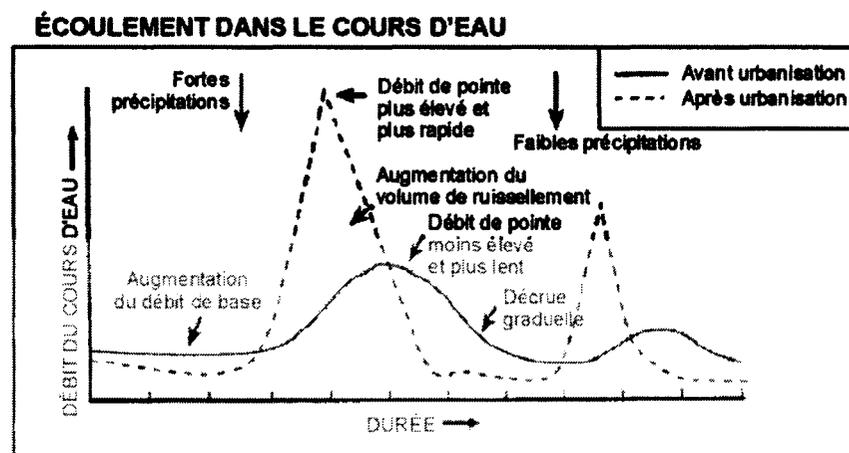


Figure 6 Réduction de l'amplitude des débordements(InfraGuide, 2003)

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).

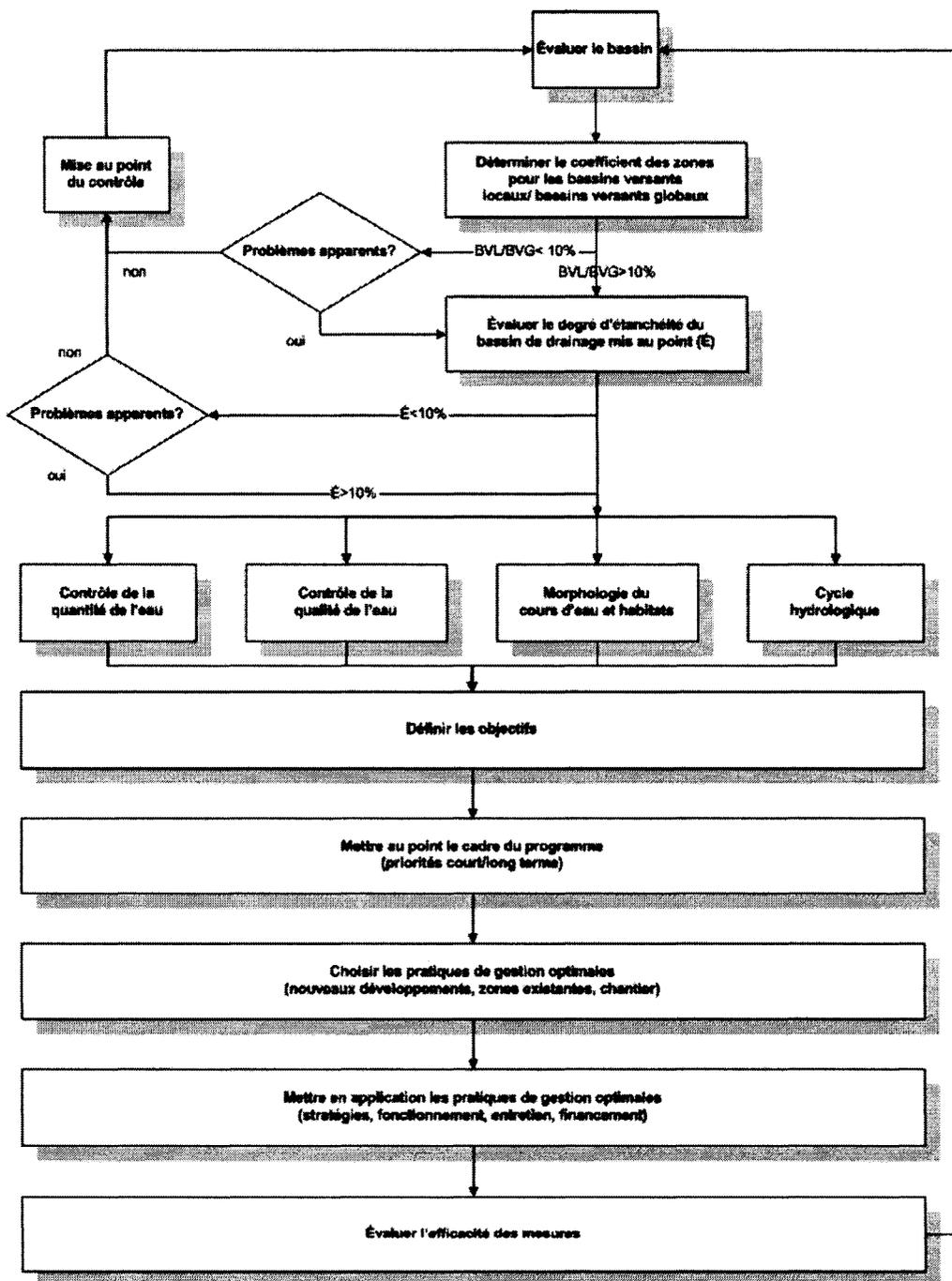


Figure 7 Mise au point d'un plan de gestion des eaux pluviales (InfraGuide, 2003)

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 inclus 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 systémique¹ 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.

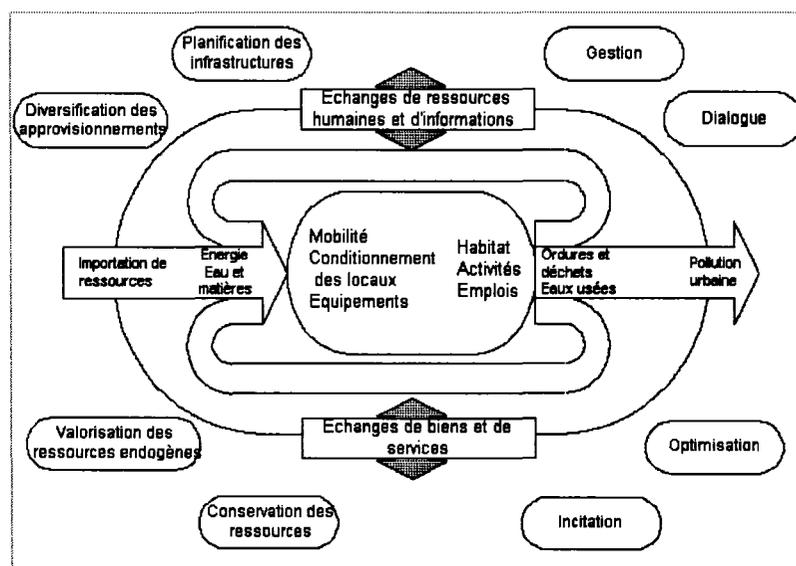


Figure 8 Schéma fonctionnel de l'approche urbistique (Revaz, 2001)

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.

¹ 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).

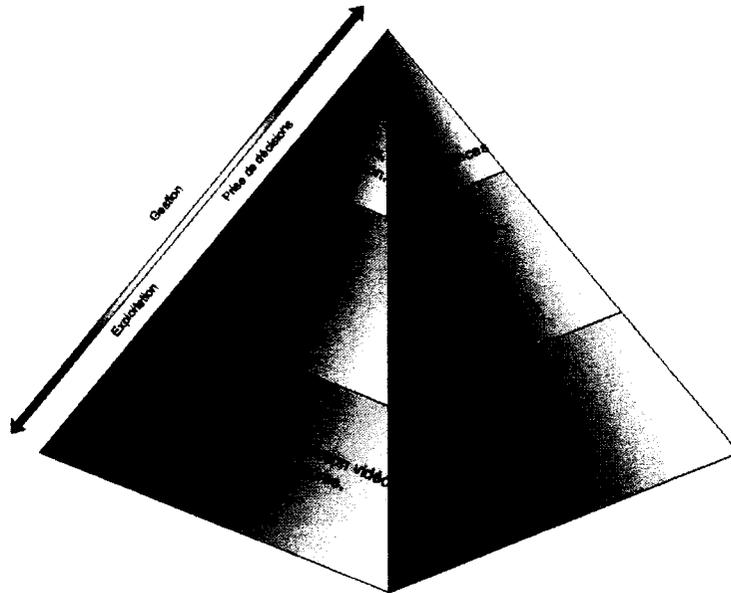


Figure 9 Exploitation d'une infrastructure urbaine (Konaré, 2001)

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

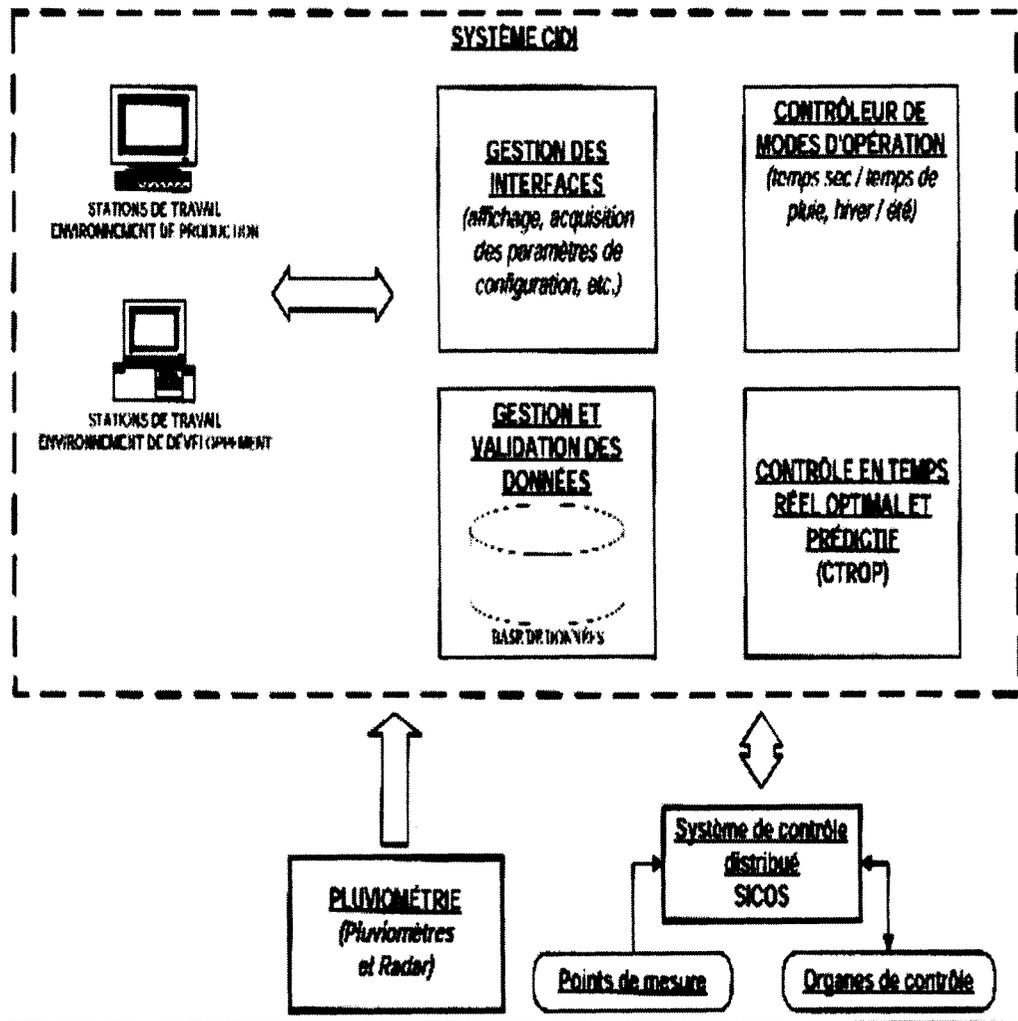


Figure 10 Le système de contrôle intégré des intercepteurs (CMM)

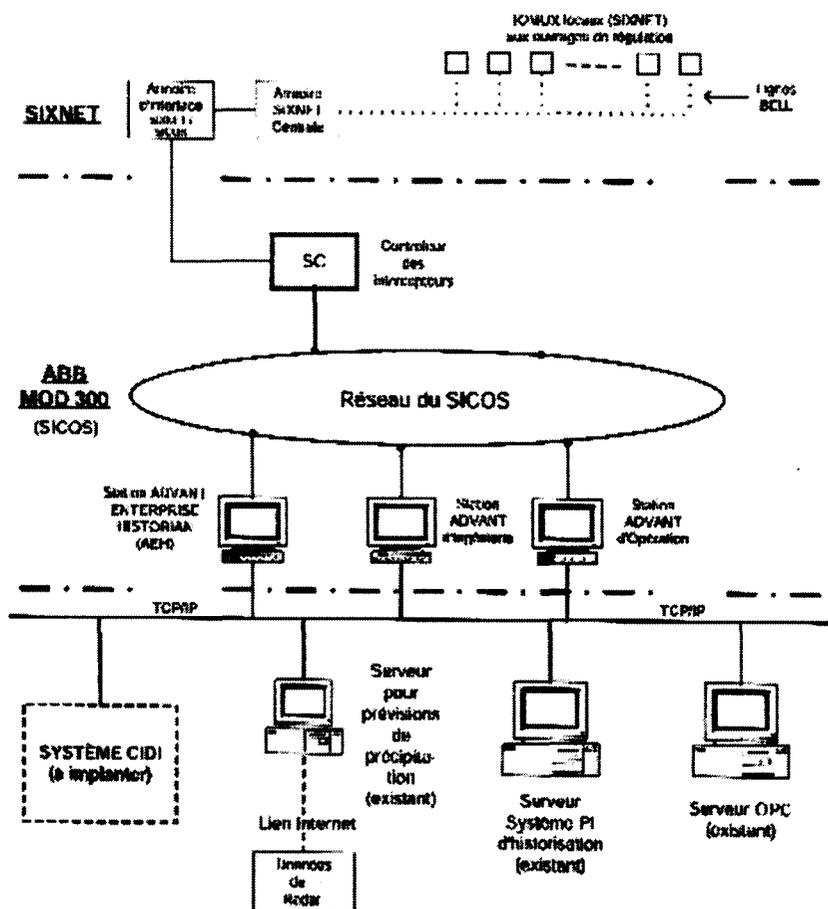


Figure 11 Topologie du système de contrôle des intercepteurs (CMM)

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 DBO₅. 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.