

**SYNTHÈSE DE LA RECHERCHE
TECHNIQUE ET POSSIBILITÉ
DE L'APPLIQUER AU
RENOUVELLEMENT DES
INFRASTRUCTURES
LINÉAIRES**

À l'intention de :

**LA DIVISION DE LA RECHERCHE
SOCIÉTÉ CANADIENNE D'HYPOTHÈQUES
ET DE LOGEMENT
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7**

Présenté par :

**CH2M HILL ENGINEERING LTD.
920-475, rue Georgia Ouest
Vancouver (Colombie-Britannique)
V6B 4M9**

Tél. (604) 684-3282

Fax. (604) 684-3292

Date :

Novembre 1994

Expert-conseil principal :

Tom Field, ing.

Directeur des travaux SCHL :

**Alvin J. Houston
Division de la recherche**

This publication is also available in English under the title:

**A Synthesis of Technical Research and its Potential for Application in
Linear Infrastructure Renewal**

La Société canadienne d'hypothèques et de logement, l'organisme du logement du gouvernement du Canada, a pour mandat d'appliquer la Loi nationale sur l'habitation. Cette loi a pour objet d'aider à améliorer les conditions d'habitation et de vie au Canada. C'est pourquoi la Société s'intéresse à tout ce qui concerne l'habitation, l'expansion et le développement urbains.

Aux termes de la Partie IX de la Loi, le gouvernement du Canada autorise la SCHL à affecter des capitaux à des recherches sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et à publier et diffuser les résultats de ces recherches. La SCHL a donc une obligation légale de veiller à ce que tout renseignement de nature à améliorer les conditions d'habitation et de vie soit connu du plus grand nombre possible de personnes ou de groupes de personnes.

Bien que le présent projet ait été financé par la SCHL, les opinions exprimées sont celles des auteurs et la Société n'en n'assume aucune responsabilité.

REMERCIEMENTS

CH2M HILL Engineering tient à témoigner sa reconnaissance aux personnes ci-dessous qui ont contribué à la préparation du présent document :

- M. N. Mailvaganam
Conseil national de recherches du Canada
Institut de recherche en construction
- M. Hans Foerstel
Environnement Canada
Direction de la conservation de l'eau et des habitats
Division de la conservation
- M. E. Cuyllits
Industrie Canada
Direction de l'industrie de la construction
Direction générale des industries de la distribution et de la construction
- M. Bruce Jank
Président-directeur général
Wastewater Technology Centre
- M. Steve Bonk
Directeur général
Association canadienne des eaux potables et usées
- D.M. Atkins, ing.
Gestionnaire
Direction de la planification et de l'élaboration des programmes
Division du génie
Municipalité régionale d'Ottawa-Carleton
- M. J.H. LaVerne Palmer
Chef, Groupe d'étude des revêtements
Centre de technologie des transports sur surface
Conseil national de recherches Canada
- W.J. Cosgrove
Président
Ecoconsult Inc.

D'autres conseils nous ont été fournis par le personnel de la Division de la recherche de la SCHL et du ministère des Finances.

PRÉFACE

L'infrastructure du Canada a été l'objet de regards plus intenses ces derniers temps. En effet, la détérioration des chaussées, des équipements de traitement d'eau et d'eaux usées et d'autres infrastructures est bien documentée.

Les services municipaux de base, c'est-à-dire les réseaux d'approvisionnement en eau et les réseaux d'égouts, sur lesquels les Canadiens comptent pour leur santé et leur bien-être, nécessitent pour la plupart des travaux d'entretien et de réhabilitation. En 1983, la Fédération canadienne des municipalités (FCM) a confié à un groupe de travail la mission d'évaluer l'état général des équipements municipaux. Le rapport du Groupe, publié en 1985, concluait que l'entretien, l'amélioration, le remplacement et l'expansion de l'infrastructure urbaine étaient une grande préoccupation. Or, le climat d'austérité, une infrastructure usée, les exigences qui se concurrencent pour les services municipaux, la tarification inadéquate des services publics et la pénurie d'information sur la rentabilité d'éventuelles améliorations techniques ont concouru à la planification inadéquate des travaux de renouvellement et d'entretien de l'infrastructure.

Les réseaux d'infrastructure sont effectivement devenus très coûteux en Amérique du Nord. Chaque année, les grandes comme les petites collectivités sont confrontées à une liste de plus en plus longue de travaux à effectuer au chapitre des infrastructures linéaires. Des demandes associées à l'étalement urbain, aux améliorations, à l'entretien et aux remplacements, sans compter le financement, sont présentées pour sans cesse plus d'approvisionnement, de traitement et de distribution d'eau, ainsi que plus de services de collecte, de traitement et d'évacuation d'eaux usées. Il faut donc qu'une nouvelle optique soit adoptée à l'égard des infrastructures linéaires. Dans une optique traditionnelle, il faudrait investir des sommes faramineuses, bien plus que les chiffres cités par le rapport de la FCM.

Cette optique nouvelle s'impose tant à l'échelle locale qu'internationale. Au niveau local, il faudra prévoir les taux de croissance démographique à long terme du Canada (par l'immigration plutôt que par l'augmentation naturelle). Comme la population canadienne figure parmi les moins denses du monde, elle sera perçue comme un bassin pour les pays dont les populations grossissent sans cesse. Le Canada sera donc obligé de fournir de nouvelles infrastructures, améliorer celles qu'il possède déjà et utiliser plus efficacement les installations et les capacités existantes.

À l'échelle mondiale, les chiffres fournis aux fins de la planification sont rébarbatifs. On estime que la population urbaine du Tiers-Monde aura augmenté seize fois entre 1950 et 2050. Selon les Nations Unies, 22 villes compteront plus de 10 millions d'habitants, dont 18 dans les pays en développement d'Asie et d'Amérique latine. À ce rythme, quelque 1,5 billion de dollars seront dépensés partout au monde dans les trente prochaines années pour l'aménagement d'infrastructures.

La mondialisation du commerce pourrait faire grimper les revenus et améliorer le niveau de vie des personnes vivant dans les bidonvilles et les quartiers pauvres du Tiers-Monde, qui pourraient devenir des villes habitables et viables. Paris, Londres et Berlin sont devenues des modèles urbains après la révolution industrielle, et ce malgré l'état pitoyable dans lequel elles étaient, en mettant à contribution des matériaux dont elles disposaient à l'époque. Ces matériaux et ces réseaux ont maintenant plus d'un siècle!

Eberhard est d'avis que la nouvelle génération d'inventions, d'innovations et de structures urbaines pourraient être des agents de changement. Il a peu d'espoir que les techniques qui ont vu le jour au début du siècle (toujours populaires au Canada) et qui ont servi à assurer l'approvisionnement, le transport et l'évacuation dans les villes occidentales modernes se retrouveront dans les agglomérations du monde. Il entrevoit plutôt la ville future desservie par une infrastructure fondée sur la microélectronique, de nouveaux matériaux, la photonique et la biotechnologie. Pour la mise au point des « réseaux urbains de troisième génération », il faudra faire des recherches sur des solutions de rechange.

Le Canada a déjà beaucoup tiré profit de ses richesses naturelles et les industries qui les ont mises en valeur nous ont procuré un niveau de vie parmi les plus élevés. Il nous faut maintenant admettre que cette dépendance des richesses naturelles ne continuera pas de nous fournir des emplois bien rémunérés. En effet, les producteurs dont les coûts sont les plus bas, les fluctuations dans le prix des denrées et les technologies novatrices continueront de faire diminuer nos niveaux de vie.

On a souvent répété que, pour être compétitif, le Canada doit opter pour une économie davantage basée sur la technologie et moins sur ses matières premières. Comme il est très industrialisé, les besoins qui commencent à se manifester dans le Tiers-Monde au chapitre des équipements et des solutions de rechange pourraient présenter pour le Canada un potentiel immense, en offrant les services nécessaires aux pays susceptibles de s'accaparer les emplois dans le secteur de la fabrication que perdent beaucoup de pays industrialisés confrontés à une restructuration, y compris le Canada.

Il va sans dire que, dans l'avenir, l'expansion urbaine pourrait être fortement influencée par les progrès technologiques. Notre préoccupation actuelle pour l'environnement nous obligera à faire plus de recherches sur les modes de vie écologiques. La réglementation environnementale, les contraintes économiques et les populations croissantes forceront les ingénieurs et les chercheurs à inventer des infrastructures linéaires efficaces. Ces nouveaux réseaux se réaliseront plus facilement s'ils sont basés sur des approches qui se sont déjà révélées pratiques et durables.

Beaucoup de recherches ont déjà été faites en vue du développement de techniques de rechange. La présente étude vise à rassembler toute une panoplie d'éléments de recherche, solides et éprouvés, en vue de déterminer comment chacun d'eux pourrait être incorporé à des infrastructures municipales que l'on veut utiles et plus rentables. Les auteurs sont des ingénieurs-conseils qui s'occupent d'infrastructures depuis de nombreuses années. Ils se sont attachés à cerner les problèmes et les préoccupations, puis à établir un lien avec d'éventuels débouchés commerciaux dans ce domaine. On ne s'attend pas à ce que les Canadiens abandonnent tout de suite leurs réseaux d'équipements, mais notre rapport devrait donner matière à réflexion et

présenter formellement les nouvelles approches que nous devons adopter pour les réseaux d'infrastructures linéaires de l'avenir.

Les autorités qui ont la responsabilité des équipements d'eau et d'égouts doivent examiner et adapter les nouvelles méthodes et les progrès technologiques, comme ceux qui ont été appliqués avec succès dans d'autres secteurs. Il s'agit plus particulièrement des progrès réalisés au chapitre des matériaux, du mesurage et de la régulation. La Ville de Calgary a su mettre à contribution les techniques de protection cathodique et des matériaux mis au point par l'industrie du gaz naturel pour son réseau de distribution d'eau. À Edmonton, l'AWWA Research Foundation a terminé une batterie d'essais sur un dispositif de mesurage de l'épaisseur des murs, qui serait utilisé pour les conduites d'eau et les tuyaux d'égout. Les résultats de ces efforts devraient être transmis rapidement, de façon coordonnée, aux ingénieurs et aux gestionnaires des infrastructures urbaines du pays.

On tient pour acquis de nos jours que les économies d'eau sont un aspect important de la planification à long terme des réseaux d'eau potable et d'eaux usées. Certes, les raisons d'économiser l'eau sont aussi variées que les collectivités qui décident de le faire. Or, l'économie d'eau est comparable à la gestion de la demande dans l'industrie hydro-électrique. Les sociétés hydro-électriques se sont rendues à l'évidence qu'une demande moins forte leur permettrait de remettre à plus tard, voire d'annuler, des projets d'approvisionnement et des prolongements de gigantesques réseaux. En outre, les inquiétudes exprimées concernant les gros projets hydro-électriques et notre souci d'économie renouvelé ont contribué au succès de la conservation. De même, les responsables des réseaux d'eau potable et d'eaux usées ont pris conscience que ce n'est pas seulement par des sources ou des installations nouvelles ou plus étendues que l'on peut satisfaire à la demande d'eau accrue d'une population en croissance. C'est ici que l'économie de l'eau devient une bonne dérogation de la norme.

Nos futurs réseaux d'eau potable et d'eaux usées ne s'en porteront que mieux si nous sommes disposés à repenser nos procédés de longue date et à adopter de nouvelles idées. Prenons l'exemple des gros ordinateurs qui ont été une merveille à une certaine époque, mais après quelque décennies à peine, ils servent encore à des applications très complexes, mais ce sont les ordinateurs personnels, beaucoup plus puissants que les premiers gros ordinateurs, qui se sont multipliés dans les bureaux, les maisons et les écoles. Si l'analogie est faite avec les stations modernes de traitement d'eau, même tous nos réseaux d'infrastructures, à quoi ressembleront-ils dans l'avenir ?

Sur le plan local, les propriétaires ultimes des réseaux d'infrastructures sont les municipalités. Même si des organismes fédéraux sont habilités à établir des lignes directrices sur la qualité de l'eau potable et la qualité des exutoires, les municipalités ont une marge de manoeuvre et peuvent s'y conformer à leur manière. Par conséquent, elles sont les mieux placées pour favoriser l'innovation et appliquer les résultats de recherches pour améliorer la manière dont nous concevons, construisons, finançons et gérons nos infrastructures. Pourtant, sous plusieurs angles, les autorités municipales tardent souvent à se prévaloir des technologies et des idées nouvelles.

Prendre conscience des barrières inhérentes du système au développement et à l'application des innovations dans nos industries, dont l'aménagement d'infrastructures, est la première chose qu'il faut faire pour les faire tomber. Il existe dans presque toutes les villes canadiennes un programme d'amélioration des infrastructures, normalement pour le remplacement des conduites d'eau, le transport des eaux d'égout ou une augmentation de capacité. Lorsque les travaux ne sont exécutés par la municipalité d'après des méthodes de génie et de construction qui ont évolué au fil des ans, ils sont confiés à des entreprises d'ingénierie et de construction qui ont l'expérience des méthodes classiques. L'innovation n'est pas leur mot d'ordre. L'efficacité et la rapidité sont primordiales, et on ne perd pas de temps avec les méthodes éprouvées.

Il faut tenir compte également des risques et de la responsabilité civile, ainsi que de la manière dont ils sont gérés ou partagés lorsque les résultats des recherches sont appliqués sur le terrain. Les entrepreneurs canadiens fuient le risque, si bien que les négociations contractuelles se font généralement dans un climat de litige, car on consacre beaucoup d'énergie et de rouages à réduire

les risques au minimum au lieu d'innover. En outre, les municipalités hésitent à adopter de nouvelles approches avant qu'elles n'aient été éprouvées ailleurs, le plus souvent par crainte de gaspiller l'argent du contribuable, ou d'être perçues comme telles. Récemment, des jugements rendus par certains tribunaux nous laisseraient croire que les municipalités sont riches, que leurs coffres déborderaient d'argent et qu'elles pourraient facilement dédommager une petite entreprise ou un particulier. L'innovation est étouffée là où les risques et les responsabilités sont considérées comme étant partagés inéquitablement. Ce ne sont là que deux facteurs qui ont entravé le transfert des résultats de la recherche en matière d'infrastructure au Canada et à l'étranger.

Chaque jour au Canada on soupèse l'importance du financement des réseaux d'infrastructure linéaires par rapport à l'importance des autres besoins fonctionnels de la municipalité. Au fur et à mesure que les installations et les réseaux se détérioreront, qu'ils deviendront inutilisables ou qu'ils ne suffiront simplement plus à la demande, il faudra sans cesse investir plus d'argent dans le renouvellement des infrastructures. Les consommateurs ont toujours été à l'abri des coûts réels que présentent la croissance et le renouvellement des infrastructures par les subventions et les impôts en général. Dans bien des cas, la taxation municipale a été établie selon la mesure dans laquelle les contribuables étaient disposés à payer, plutôt que d'après les besoins véritables.

Devant le spectre d'une révolte des contribuables s'il fallait financer les coûts réels, on peut s'attendre à ce que les améliorations futures se fassent davantage selon le principe paye-qui-profitte. C'est l'une des optiques clés qui permettraient au secteur privé de se concerter avec les municipalités pour épauler l'innovation dans les infrastructures linéaires. Le péage a fréquemment servi à financer la construction de ponts et chaussées. De récents projets ont démontré en outre le potentiel du secteur privé à financer, bâtir, posséder et exploiter des installations normalement considérées comme publiques. De plus en plus, l'exploitation d'un grand nombre d'installations de traitement d'eaux usées au Canada et aux États-Unis est cédée à des entreprises privées. Dans certaines parties du Royaume-Uni, les réseaux d'approvisionnement, de traitement et de distribution ont été privatisés il y a bien des années.

Le jumelage économique serait un autre moyen de former des alliances entre les secteurs public et privé pour l'aménagement des infrastructures, et une source de financement indirecte pour les municipalités. C'est devenu monnaie courante en Europe depuis des décennies, mais on commence à peine à en parler au Canada. Par leurs contacts internationaux, les municipalités commanditent les industries locales lorsqu'elles trouvent et développent des débouchés commerciaux à l'étranger. L'entreprise canadienne bénéficie des contacts initiaux et d'une acceptation plus aisée sur les marchés internationaux. Quant à la municipalité, elle bénéficie des emplois locaux, de l'expansion économique et des recettes financières accrues. Au niveau des infrastructures linéaires, les municipalités ont une position unique, celle de promoteur et de partenaire du développement et de l'application des nouvelles idées ou technologies. L'expérience éprouvée d'une technologie ou d'une innovation ici au Canada sera d'un grand apport à leur intégration dans d'autres pays, y compris dans les pays du Tiers-Monde dont les populations grossissent et s'urbanisent rapidement.

Les questions de compétence surgissent partout dans les dossiers de développement et d'amélioration d'infrastructures. À l'échelle locale, les administrations régionales et municipales n'ont pas toujours des politiques bien définies sur la propriété, l'exploitation ou le financement des stations de traitement. Aux paliers supérieurs, les lois et les programmes fédéraux et provinciaux sont parfois discordants. Le Conseil canadien des ministres de l'Environnement a récemment pris l'initiative de remédier à ce problème. Il pourrait en résulter, au niveau national, une plus grande uniformité entre compétences et une répartition plus claire des rôles.

Table des matieres

PRÉFACE	i
RÉSUMÉ	xi
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 RÉSEAUX D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES DU CANADA	4
2.1 Survol des infrastructures municipales au Canada	4
2.2 Méthodes de calcul	11
2.2.1 Approvisionnement en eau et traitement de l'eau	12
2.2.2 Distribution de l'eau	15
2.2.3 Collecte des eaux usées	18
2.2.4 Traitement des eaux usées	25
2.3 Matériaux	28
2.3.1 Métaux	28
2.3.2 Produits hydrauliques	31
2.3.3 Plastiques et polymères	34
2.4 Choix du procédé de traitement	36
2.4.1 Procédés de traitement d'eau	37
2.4.2 Procédés de traitement des eaux usées	40
2.5 Exploitation et entretien	43
2.5.1 Main-d'oeuvre et matériel	47
2.5.2 Méthodes	47
2.6 Compétences	49
2.6.1 Terrain privé	49
2.6.2 Réseaux régionaux	49
2.6.3 Financement	50

2.7	Réglementation	54
2.7.1	Mesures législatives	54
2.7.2	Codes	58
2.7.3	Homologation des matériaux (Normes)	60
2.7.4	Cautionnement de garantie	61
2.7.5	Organisations professionnelles	62
3.0	BESOINS ET TENDANCES SOCIALES AU CHAPITRE DES INFRASTRUCTURES LINÉAIRES	64
3.1	Besoins actuels	64
3.1.1	En quoi consiste le réseau actuel ?	64
3.1.2	Quelles sont les capacités pratiques actuelles ?	66
3.1.3	Comment peut-on l'améliorer ?	69
3.2	Besoins futurs	69
3.2.1	Croissance démographique	70
3.2.2	Amélioration des infrastructures linéaires	70
3.2.3	Remplacement	72
3.2.4	Entretien	73
3.3	Tendances sociales	74
3.3.2	Nouvelles tendances en matière de transport	76
3.3.3	Démographie	77
3.3.4	Incidence des tendances sociales sur les infrastructures linéaires ...	78
3.4	Contexte international	79
3.4.1	Le défi	79
3.4.2	Importance pour les Canadiens	80
3.4.3	Nouvelles optiques	83
4.0	Recherches et technologies pertinentes	89
4.1	Introduction	89
4.2	Deux visions pour l'avenir	90
4.2.1	Pertinence pour les infrastructures linéaires	92

4.3	Technologie de pointe actuelle	93
4.3.1	Méthodes de calcul	93
4.3.2	Matériaux	97
4.3.3	Technologie	100
4.3.4	Contrôles et régulation	110
4.3.5	Économie de l'eau	113
5.0	APPLICATION DES RECHERCHES	123
5.1	Obstacles à l'application des recherches	124
5.1.1	Prudence des usagers	124
5.1.2	Codes et mesures législatives	126
5.1.3	Économie	126
5.1.4	Aspects juridiques	127
5.1.5	Entrepreneuriat	128
5.2	Rôle du gouvernement	129
5.2.1	Politique	130
5.2.2	Lois, codes et règlements municipaux	131
5.2.3	Établissement de normes et homologation	131
5.2.4	Coopération entre organismes	132
5.2.5	Financement	133
5.3	Rôle des organisations professionnelles	135
5.4	Rôle des usagers (municipalités)	136
5.5	Rôle du secteur privé	138
5.6	Rôle des établissements d'enseignement	140
6.0	CONCLUSIONS	141
7.0	BIBLIOGRAPHIE	146

RÉSUMÉ

INTRODUCTION

Au mois d'avril 1989, la Société canadienne d'hypothèques et de logement présentait un résumé de ses points de vue sur l'état des infrastructures linéaires dans les centres urbains au Canada et établissait un rapport avec les autres besoins urbains. La présente étude se veut en quelque sorte le prolongement de l'enquête.

Cette étude porte essentiellement sur les infrastructures linéaires, terme désignant les prises d'eau et les stations de traitement de l'eau, les canalisations d'eau, les robinets, les pompes et les raccordements à la maison, de même que tous les réseaux de collecte des eaux d'égouts séparatifs et pluviaux, les réservoirs de retenue et les systèmes de traitement et d'évacuation des eaux. L'étude porte sur un large éventail de matériaux, de pièces d'équipement et de stratégies de gestion conçus pour améliorer la performance des infrastructures linéaires et traiter des techniques et des démarches qui pourraient servir à constituer une base d'information sur la technologie disponible. En plus de relever les innovations technologiques reliées aux infrastructures d'eau et d'égouts présentement disponibles au Canada et ailleurs, le rapport résume les opinions les concernant, de sorte que les administrateurs municipaux, les ingénieurs et d'autres intervenants pourront comprendre la façon d'en tirer profit. Les questions relatives aux codes, aux cahiers des charges et aux autres mécanismes selon lesquels des méthodes et technologies efficaces peuvent être mises en oeuvre lors du renouvellement et de la réfection des infrastructures font aussi l'objet de l'étude.

OBJECTIFS

Les objectifs de la présente étude consistaient à :

1. examiner les cinq catégories de besoins déjà reconnus par la SCHL : croissance, entretien, amélioration des usines et du matériel en place, remplacement des services et amélioration des matériaux et de la technologie;
2. présenter des renseignements généraux sur la population urbaine, l'augmentation de la densité, les coûts de l'énergie et de la demande par habitant, les répercussions de modifier les habitudes de transport et le besoin de démarches écologiques, particulièrement en ce qui concerne le renouvellement des infrastructures d'eau;
3. relever les occasions d'améliorer les infrastructures linéaires grâce à une technologie efficiente et novatrice, pour expliquer la défaillance des matériaux et la façon d'en restaurer certains;
4. rechercher les perfectionnements techniques en matière d'infrastructures linéaires, cerner les causes de la défaillance des réseaux et les améliorations technologiques et montrer comment prédire les taux de défaillance;
5. définir les obstacles et les limites à l'adoption rapide d'innovations, de matériaux et de techniques en matière d'infrastructures d'eau et d'égouts;
6. considérer les questions juridiques, ayant trait à la certification des matériaux et ayant rapport au code, et en traiter;
7. examiner les rôles, lors de l'application de la recherche technique, des divers organismes qui s'intéressent aux infrastructures linéaires au Canada;

8. envisager la nécessité de renseigner le personnel chargé de la conception et de la gestion des infrastructures au sujet des matériaux et des techniques de réparations efficaces, éprouvés et approuvés, tous adaptés aux questions de principes touchant le logement écologique présentement à l'étude au sein de la SCHL.

MÉTHODOLOGIE

La revue de l'évolution des réseaux d'infrastructures linéaires au Canada a été entreprise, ainsi que l'examen et la comparaison des diverses normes et pratiques de conception municipales, de même que des codes national, provinciaux et locaux. La revue a porté sur des études précédentes des réseaux d'infrastructures municipales et des besoins actuels, effectuées par la SCHL et d'autres organismes. Des spécialistes du comportement de divers matériaux et des pratiques de conception ont contribué au rapport. Ces consultants sous-traitants ont relevé les tendances courantes dans leur domaine précis et expliqué leur relation par rapport aux besoins existants en infrastructures linéaires et aux besoins futurs au Canada. Ils ont aussi expliqué comment les innovations sur le plan des infrastructures canadiennes peuvent tirer avantage de la situation du pays au chapitre du commerce international.

CONSTATATIONS

- Certaines infrastructures linéaires au Canada sont en piètre état; l'entretien des infrastructures actuelles n'atteint pas les niveaux souhaités et on n'a pas prévu le remplacement des réseaux prenant de l'âge.
- Il existe de nouvelles technologies et l'on applique lentement aux infrastructures linéaires municipales les résultats de recherches techniques axées sur de nouvelles approches; bon nombre d'entre elles sont adaptées ou empruntées à d'autres industries.
- Les besoins en infrastructures devraient continuer à grandir au Canada, alors que les infrastructures existantes qui continueront à vieillir et à se détériorer auront besoin d'être remplacées.
- Une bonne partie de la recherche sur les infrastructures et de l'innovation technologique vise à optimiser ou à prolonger la durée des réseaux actuels.
- Les pays du Tiers-Monde, en croissance rapide, auront des besoins d'infrastructures encore plus grands que les nôtres. Les Canadiens devraient considérer ces besoins comme une occasion unique d'offrir des services de haute technologie aux pays qui, grâce à la mondialisation du commerce, bénéficieront probablement des ressources et des emplois de fabrication qui échappent maintenant aux Canadiens.
- Les méthodes traditionnelles de conception et de construction des infrastructures ne seront pas possibles ou tout indiquées pour ces pays; par conséquent, il faudra en élaborer de nouvelles.
- Les méthodes et les innovations qui sont d'abord appliquées et éprouvées au Canada seront acceptées plus rapidement et facilement dans le monde entier.

- De nouvelles façons de résoudre les problèmes d'infrastructures linéaires au Canada peuvent nécessiter, entre autres, des changements de planification ou encore des changements politiques, financiers et technologiques (ingénierie), d'initiative collective ou individuelle.
- Il existe des obstacles à l'application de la recherche et de la technologie aux infrastructures municipales canadiennes, y compris des facteurs économiques, juridiques et législatifs, sans compter l'attitude des concepteurs, des constructeurs et des utilisateurs.
- Les paliers de gouvernement supérieurs, les municipalités, les spécialistes et le secteur privé peuvent jouer un rôle en favorisant l'élaboration et l'application des innovations et de la technologie aux infrastructures sur une échelle locale et globale.

CONCLUSIONS

- L'état des infrastructures canadiennes varie en fonction de l'âge. Certaines sont en mauvais état et mal préparées pour fournir le service requis présentement, sans compter le degré de service plus élevé qui sera nécessaire dans les villes en expansion.
- La croissance urbaine accentuera ces problèmes d'infrastructures. Cela est particulièrement vrai quand la croissance se poursuit en zone périphérique, car elle requiert une expansion répétitive des réseaux d'eau et d'égouts, sans toutefois requérir d'innovation ou de changement.
- Le Canada n'a qu'une courte vision quand il est question d'infrastructures d'eau et d'égouts. Quand elles considèrent l'actif et l'investissement que représentent ces infrastructures, les municipalités ne voient que des solutions à court terme, au lieu d'envisager la durée réelle de l'actif. En général, les infrastructures d'eau et d'égouts ne sont pas entretenues adéquatement de sorte qu'il existe un sérieux besoin de trouver des façons d'optimiser la performance et de prolonger la durée des installations actuelles.
- D'importants travaux de recherche se déroulent en matière de conception et de gestion des infrastructures d'eau et d'égouts et ont déjà donné des innovations utiles. L'une des caractéristiques de cette recherche est le fait qu'elle est principalement financée par des fonds publics et se déroule dans des établissements fédéraux et provinciaux ainsi que dans des universités. Cela fait contraste avec les secteurs industriels et de l'électronique et des communications, où les fonds consacrés à la recherche et au développement proviennent du capital d'exploitation des entreprises privées qui se livrent à des innovations au chapitre de la fabrication et de la commercialisation.
- Il existe des obstacles certains à l'application d'innovations à des projets et problèmes d'infrastructures d'eau et d'égouts, y compris la façon de les financer, de les concevoir, de les construire et de les exploiter.

- Le secteur des infrastructures linéaires doit adopter de toute urgence certaines méthodes techniques et certains systèmes de gestion qui ont réussi dans d'autres domaines. Des façons de surmonter les obstacles indiqués devront être étudiées. Elles s'entendent de l'énergie de production et de l'établissement du coût global appliqués à la recherche en matière de logement, l'économie visant à prévoir l'expansion, appliquée par les sociétés d'électricité et les réseaux d'égouts alternatifs, comme le « Supertube » suédois.
- Parce que la commercialisation et la mise en marché revêtent tout autant d'importance que l'invention, les entreprises canadiennes seront probablement exclues des importants marchés étrangers que représente le développement d'infrastructures destinées aux pays du Tiers-Monde, à moins d'élaborer une industrie viable, énergétique et novatrice.
- D'autres méthodes sont essentielles pour compléter nos façons traditionnelles de planifier, concevoir, construire, exploiter, entretenir, renouveler et réhabiliter nos infrastructures.
- La façon de livrer les infrastructures au client est influencée par tout ce qui suit : les gouvernements fédéral et provinciaux, les municipalités, l'industrie privée, les associations professionnelles d'ingénieurs, les autres professions (juridiques, comptables) et les organismes d'approbation (codes et normes, assurances).
- L'économie de l'eau jouera un rôle important dans la réduction des besoins futurs en matière d'infrastructures. Un organisme coordonnateur efficace devrait faire en sorte que l'eau soit mieux économisée dans les foyers, les commerces et les industries, que la demande d'énergie pour pomper cette eau soit réduite, ainsi que les besoins de traitement chimique de l'eau. Les initiatives récentes du Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME), visant à harmoniser les programmes environnementaux et à uniformiser les lois et règlements à travers le pays, contribueront à faire avancer le dossier.

1.0 INTRODUCTION

En 1983, la Fédération canadienne des municipalités confiait à un groupe de travail la mission d'évaluer l'état général des infrastructures municipales. Dans un rapport publié en 1985, le Groupe conclut que l'entretien, l'amélioration, le remplacement et l'expansion des infrastructures urbaines laissent beaucoup à désirer. Les services municipaux de base, c'est-à-dire les réseaux d'approvisionnement en eau et les réseaux d'égouts, sur lesquels les Canadiens comptent pour leur santé et leur bien-être, nécessitent pour la plupart des travaux d'entretien et de réhabilitation. Or, le climat d'austérité, une infrastructure usée, les exigences qui se concurrencent pour les services municipaux, la tarification inadéquate des services publics et la pénurie d'information sur la rentabilité d'éventuelles améliorations techniques ont concouru à la planification inadéquate des travaux de renouvellement et d'entretien de l'infrastructure.¹

Après la deuxième guerre mondiale, l'essor rapide a amené une expansion aussi rapide de l'infrastructure d'eau et d'égout dans les zones urbaines du Canada. Cette infrastructure a été entretenue de manière acceptable durant les années 1960, lorsque les fonds ne manquaient pas. L'inflation considérable que nous avons connue à la fin des années 1970 n'était normalement pas compensée par une majoration équivalente des recettes fiscales. La population a commencé à s'intéresser davantage aux décisions de leur municipalité, et on hésitait à emprunter de l'argent aux taux d'intérêt élevés de l'époque. Il en a résulté une pression croissante sur les budgets de fonctionnement et l'entretien des équipements est devenu moins prioritaire.

On estime que, à l'heure actuelle, l'âge moyen des conduites d'eau et des égouts séparatifs serait de 37 ans, des stations de traitement d'eau d'environ 30 ans, et des stations de traitement des eaux usées à peu près 20 ans.² Les municipalités en sont au stade où il leur faudra verser beaucoup d'argent pour le renouvellement et la réhabilitation de l'infrastructure. Il en coûterait 15 milliards de dollars pour renouveler l'infrastructure municipale de l'ensemble du pays.³

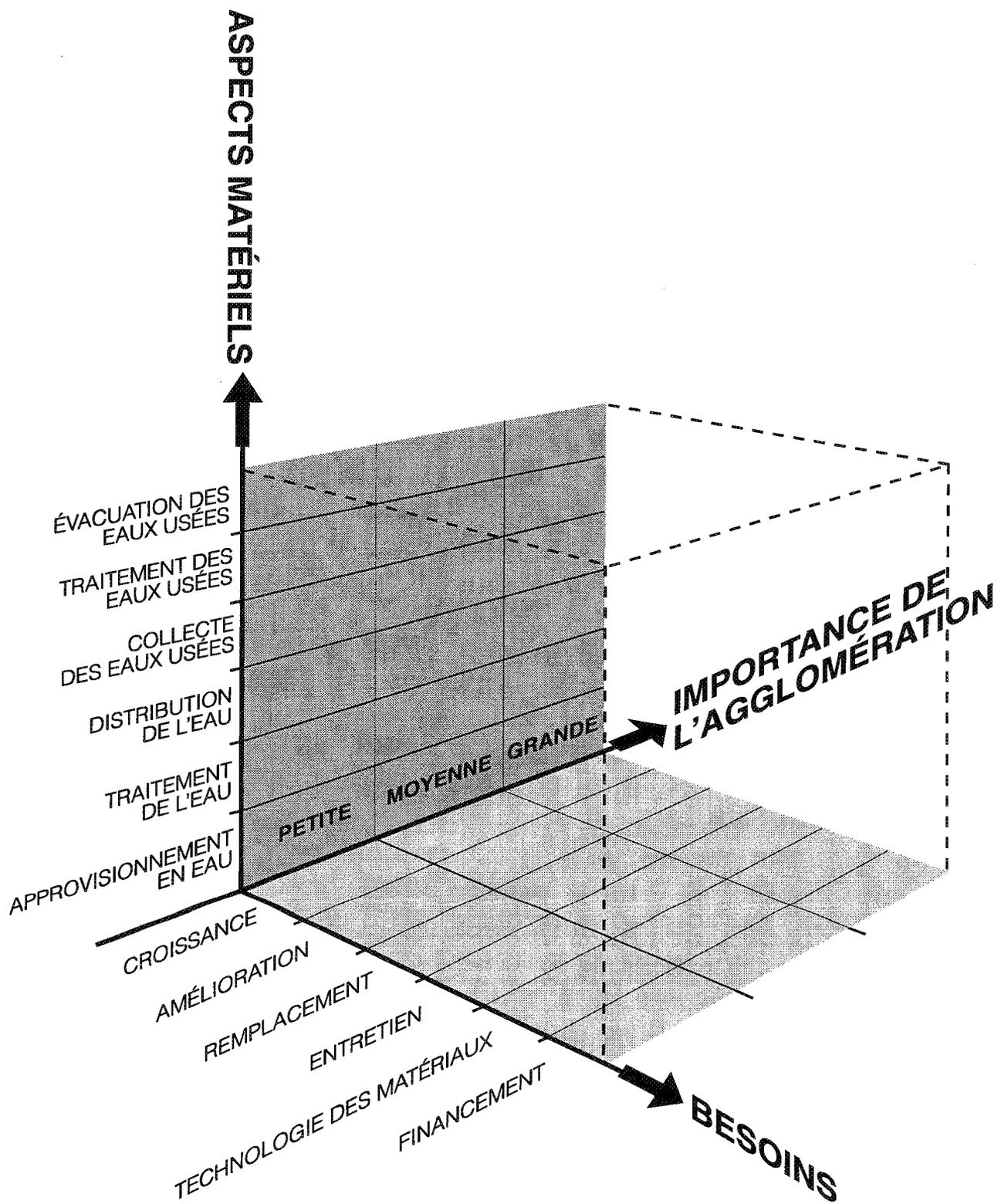
Dans les années 1990, le renouvellement de l'infrastructure présente des défis sur les plans technique, financier et politique. Où allons-nous trouver l'argent ? La volonté politique peut-elle faire écho aux besoins relatifs aux équipements d'eau et d'égout ? Comment pouvons-nous allier les progrès de la technologie et les ressources dont nous disposons de façon efficace aux fins de l'infrastructure municipale ?

Dans le contexte de la présente étude, l'infrastructure linéaire comprend les installations, les conduites et les éléments accessoires faisant partie des réseaux d'approvisionnement, de traitement et de distribution d'eau, de même que des réseaux de collecte, de traitement et d'évacuation des eaux usées. Le terme *eaux usées* englobe également les réseaux de drainage urbains et la gestion des eaux pluviales.

Les besoins relatifs à ces réseaux tombent dans l'une des catégories suivantes : croissance, amélioration, remplacement, entretien, matériaux/technologie et financement.⁴ Chacun d'eux s'applique de différentes façons et dans différentes mesures à toutes les infrastructures linéaires des villes du Canada, qu'elles soient petites, moyennes ou grandes. L'interrelation de ces éléments est illustrée dans une matrice tridimensionnelle dans la figure 1.

En ce qui concerne l'application des recherches techniques à l'infrastructure linéaire, nous avons examiné l'historique et l'état des réseaux existants, ainsi que les besoins et les possibilités des infrastructures de l'avenir. Toute une gamme de technologies et d'innovations disponibles au Canada et ailleurs, chacune ayant fait leurs preuves, ont été réunies et analysées afin que les administrateurs municipaux, les ingénieurs et d'autres puissent comprendre comment ces recherches techniques peuvent être appliquées à l'infrastructure linéaire. L'étude porte sur les codes, les cahiers des charges et d'autres mécanismes propres à l'établissement de procédés et de techniques rentables au chapitre du renouvellement et de la réfection des infrastructures. On y trouve également un examen des rôles et des possibilités pour le gouvernement, les municipalités, les professionnels et le secteur privé.

FIGURE 1 - Matrice d'infrastructure linéaire



2.0 RÉSEAUX D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES DU CANADA

2.1 Survol des infrastructures municipales au Canada

L'urbanisation des trente dernières années a entraîné d'importants déplacements démographiques au Canada. Autrefois un pays principalement rural, 85 pour cent de sa population vit maintenant dans de petites et de grandes villes. De nos jours, la population est répartie entre plusieurs milliers de municipalités, la majorité habitant les régions métropolitaines.

Depuis quarante ans, la population canadienne a augmenté de 58 pour cent, la croissance moyenne des régions métropolitaines étant de 97 pour cent. Cet essor a atteint son paroxysme entre 1956 et 1966, où la croissance moyenne se situait à 24 pour cent. La moitié de la croissance d'après-guerre au Canada a eu lieu dans huit bassins importants de l'Ouest et de la partie centrale, où le tiers de la population est toujours concentrée. Dans l'ordre descendant des taux de croissance sur 40 ans, ce sont Calgary, Edmonton, Saskatoon, Toronto, Kitchener-Waterloo, Ottawa-Hull, Regina et Vancouver.⁶

Après la Guerre, la population s'est étendue de manière très distincte. Comme elle se logeait en banlieue, il a fallu prolonger l'infrastructure à partir des limites des quartiers déjà établis. C'est pourquoi les villes ne sont pas concentrées, c'est-à-dire que l'utilisation des sols est divisée et qu'on trouve de gros aménagements urbains. Avec cet étalement, il faut « transporter » les services. Les réseaux de distribution d'eau et de collecte des eaux usées en sont deux exemples. Grâce à des barrages, l'eau peut être conservée dans d'immenses citernes ou tirée de formations aquifères ou de rivières et, dans la plupart des régions, traitée dans une station de purification pour la consommation humaine. Elle passe ensuite dans de vastes réseaux d'adduction qui nécessitent des milliers de kilomètres de tuyaux, des emprises, des stations de pompage, des détendeurs de pression et des installations de stockage reliées au branchement qui apporte l'eau à la clientèle commerciale, industrielle et résidentielle.

Les eaux usées sont ensuite recueillies par un second réseau, qui nécessite aussi des milliers de kilomètres de tuyaux, de stations de pompage et d'ouvrages de dérivation qui l'acheminent jusqu'à la station de traitement ou, dans certaines municipalités, qui la déversent directement dans le cours d'eau le plus proche.

L'Inventaire national des équipements en eau du Canada (1986) révèle que 89 pour cent de la population sondée bénéficiaient de stations de traitement d'eau, 97 pour cent étaient desservis par des réseaux de distribution d'eau, quelque 85 pour cent avait des réseaux de collecte d'eaux usées et 65 pour cent étaient dotées de réseaux aboutissant à des stations de traitement.⁷ L'eau est traitée et distribuée à des usagers soucieux de sa qualité, car la qualité de l'eau potable compte pour beaucoup dans l'état de santé. Pourtant, les collectivités ne sont pas incitées directement à investir dans le traitement des eaux usées. Dans les villes canadiennes sans traitement, les eaux d'égout brutes sont évacuées directement dans l'océan ou une rivière. Il s'agit entre autres de Victoria (Colombie-Britannique), d'Halifax (Nouvelle-Écosse) et de certaines parties de Montréal (Québec). Or, le public et les environnementalistes ont récemment mis des pressions qui ont abouti à une transition progressive vers une centralisation de la collecte et du traitement des eaux usées. En 1988, la Communauté urbaine de Montréal a ouvert une station de traitement d'eaux usées qui dessert environ la moitié de la population; elle prévoyait assurer le service au reste de la ville en 1994.⁸ En 1991, les services de CH2M HILL ont été retenus par le district régional de Victoria pour étudier différentes options de traitement des eaux usées et l'emplacement des ouvrages de traitement pour la région métropolitaine.⁹ Halifax possède aussi un programme de gestion des déchets.

Les inquiétudes exprimées au sujet de la santé et de l'environnement ont amené une réglementation plus rigoureuse et la normalisation de la qualité de l'eau et du débit des eaux usées. Maintenant que nous sommes mieux à même de mesurer les quantités traces de produits chimiques, nous en savons davantage sur la pollution des eaux. Les produits chimiques et les procédés employés pour assainir les eaux suscitent plus d'intérêt de la part des citoyens, qui veulent être consultés pour les décisions à prendre.

Victoria est l'exemple parfait. À cause d'une polémique dans les journaux sur les méthodes de gestion du bassin versant, un plébiscite a été tenu à l'automne de 1992 au sujet de la raison d'être d'une station de traitement d'eaux usées et du degré de traitement. En 1987, un sondage Gallup commandé par l'Ontario Sewer and Watermain Contractors Association a révélé que 71 pour cent des contribuables de la province seraient disposés à payer plus de taxes pour améliorer les égouts et les conduites d'eau, si les travaux étaient favorables pour l'environnement. Soixante-trois pour cent préféreraient la formule paye-qui-profit pour le financement des travaux d'amélioration des réseaux d'eau et d'égout de l'Ontario.¹⁰

Même si la plupart des municipalités canadiennes ont la responsabilité du traitement de leurs eaux usées, on sait maintenant que les eaux pluviales peuvent aussi contaminer les cours d'eau. La majeure partie du sol urbain est asphalté et sur ce revêtement s'accumulent des excréments d'animaux, de l'huile sale et du caoutchouc des pneus, des pesticides et d'autres débris, les égouts pluviaux déversent des eaux de ruissellement dans les lacs et les rivières quand les pluies sont abondantes. Les municipalités étudient actuellement le besoin de traiter les eaux pluviales. Elles envisagent notamment d'éventuels étangs de retenue ou réservoirs, dans lesquels se déposent les polluants lourds comme les métaux avant d'être évacués dans un cours d'eau.

Certaines villes ont des réseaux de distribution d'eau et de collecte d'eaux usées qui datent du siècle dernier. On trouve même encore des tuyaux d'eau et d'égout du XIX^e siècle, toujours en usage. Compte tenu du boom de la construction d'après-guerre, les réseaux ont en moyenne été construits il y a une quarantaine d'années dans les régions du centre et de l'Est du Canada. Dans l'Ouest, ils sont vraisemblablement plus récents.¹¹ On en sait très peu sur l'état de ces réseaux de canalisations souterraines dont l'usure n'est pas évidente avant qu'une défaillance ne se produise. Une défaillance commence par une fissure, une déformation latérale, un fléchissement de couronne, des joints décalés, du mortier détérioré et une armature à découvert.

Tout ce que les habitants voient, ce sont les résultats inévitables d'une négligence de longue date, comme un revêtement craquelé, une chaussée affaissée, un refoulement d'égout, une inondation localisée ou une pression d'eau trop faible.

Les dépenses faites au titre du fonctionnement et de l'entretien des égouts séparatifs et pluviaux et des conduites d'eau sont à la baisse depuis la fin des années 1970. Une étude datant de 1983 estimait l'âge moyen des égouts ontariens à environ 30 ans; leur durée de vie utile devrait être de 100 ans. Un programme de réparation et de réhabilitation, coûtant environ 15 \$ par habitant par an, a été recommandé pour l'entretien du réseau, soit à peu près trois fois les dépenses courantes de l'époque en Ontario.¹² Les réparations ne constituent actuellement que 20 pour cent des dépenses au chapitre des équipements.¹³ Si les infrastructures déjà en place sont en mauvais état ou ont une capacité limitée, les promoteurs sont moins portés à investir dans les réaménagements de secteurs, car ils sont généralement tenus d'en défrayer l'amélioration.

Les contraintes environnementales et économiques des années 1990 obligent les municipalités à augmenter leurs dépenses de fonctionnement et d'entretien, ainsi qu'à réévaluer la planification et le calcul des réseaux. Le mot « économie » revient dans toute conversation sur l'aménagement des infrastructures linéaires. Tous les services publics sont soucieux de la mise en valeur des richesses naturelles et de l'utilisation efficace des deniers publics et de la main-d'oeuvre, ce qui les pousse à considérer différentes stratégies de conservation afin de retarder l'expansion et d'optimiser la capacité des réseaux. Le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario est à élaborer une stratégie en matière d'économie de l'eau, qui touche les municipalités, les ménages et les usagers industriels. Le Ministère vise une augmentation nulle de la consommation d'eau provinciale d'ici 20 ans.¹⁴ S'il atteint son but, les eaux usées acheminées aux ouvrages de traitement auront une croissance nulle correspondante.

Contrairement à la plupart des biens de consommation et des services, l'eau potable et l'épuration des eaux usées sont essentiels à la santé de la population. C'est en prévenant la contamination de notre milieu naturel par les eaux d'égout domestiques et industriels que les stations de traitement des eaux usées nous procurent des avantages écologiques, sanitaires et économiques. De même, les canalisations qui nous apportent des quantités suffisantes d'eau de bonne qualité font en sorte que les autorités responsables de la santé et des services de secours, tels que la lutte contre les incendies, peuvent respecter leurs obligations.

Beaucoup de municipalités se préoccupent de l'entretien, de l'amélioration, du remplacement et de l'expansion des infrastructures linéaires. Les points de vue sont toutefois partagés en ce qui concerne l'organisation, les méthodes, les matériaux, les compétences, les aspects financiers et les responsabilités qui sont rattachés à la rectification des « problèmes » d'infrastructure. Les divergences d'opinions montrent à quel point les gouvernements et les groupes intéressés n'ont pas une vue d'ensemble de ce qu'implique le réexamen des infrastructures linéaires du Canada,

Il nous faudrait structurer le programme de réhabilitation de manière à satisfaire aux besoins les plus pressants. Le cadre idéal serait simple et extensible, et ferait appel aux méthodologies, matériaux et systèmes de pointe.

La figure 2 illustre ce cadre, qui permettrait d'évaluer les besoins et les solutions de rechange, d'établir les priorités et de prendre des décisions sur les mesures à prendre. L'ensemble du système de gestion d'infrastructure devrait comprendre les trois modules indiqués et répondre aux questions suivantes :

1. Qu'y a-t-il sous terre ?

Il existe des systèmes informatisés de gestion d'infrastructure (IMS) grâce auxquels les municipalités peuvent répertorier et actualiser l'information à prix raisonnable. Cependant, comme la plupart d'entre elles manquent de fonds et de personnel qualifié, elles ont encore beaucoup à faire avant de connaître l'envergure, l'âge, l'état et les autres caractéristiques de leur infrastructure.

2. Que peuvent-ils apporter ?

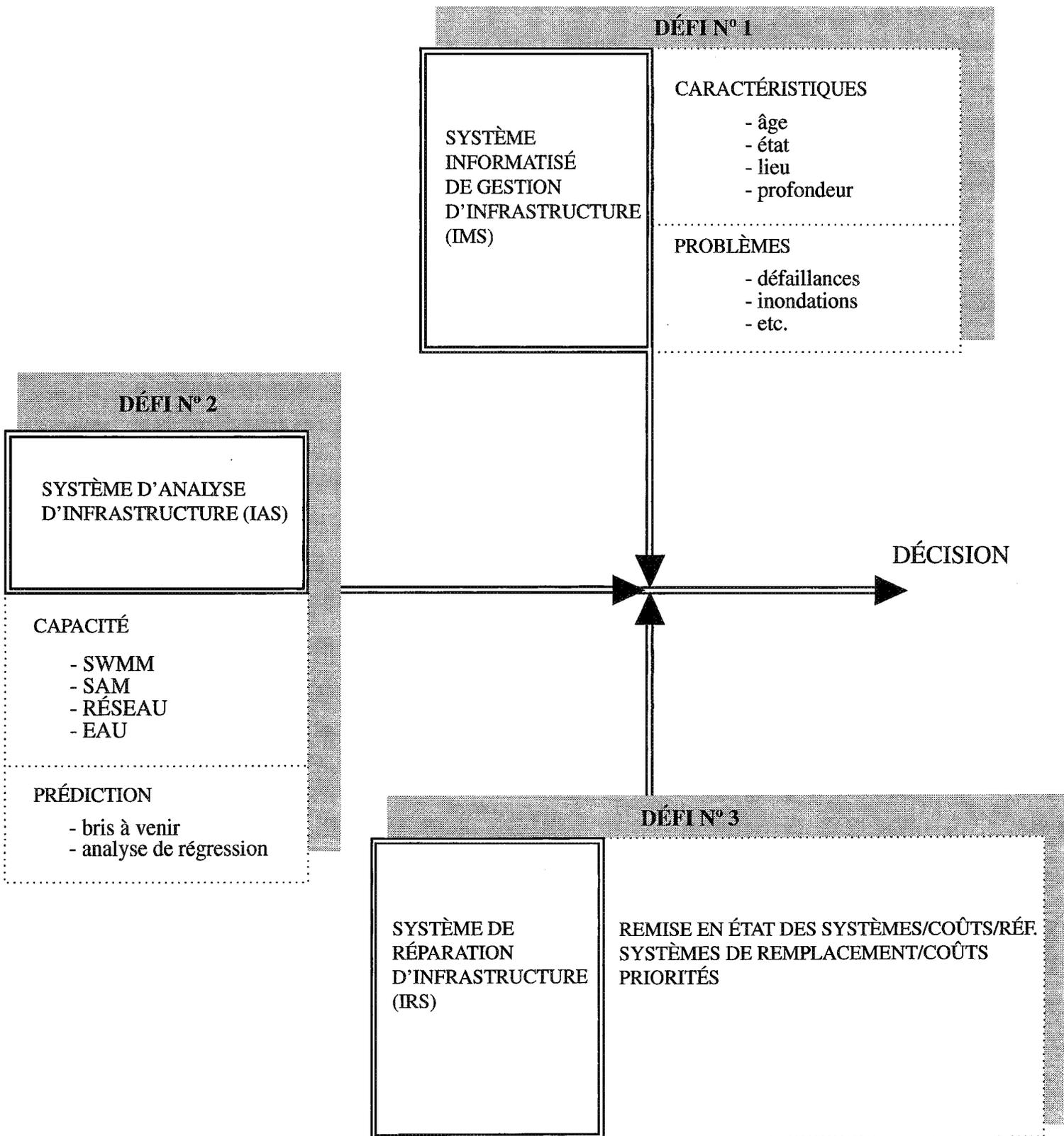
Les systèmes d'analyse d'infrastructures (IAS) permettent aux municipalités de déterminer la capacité des éléments d'infrastructure et la mesure dans laquelle ils assurent un service adéquat, à l'heure actuelle et ultérieurement. Bon nombre de ces systèmes nous permettent d'optimiser le calcul et le fonctionnement de l'infrastructure, mais leur utilisation est beaucoup plus facile et moins coûteuse si on a répondu à la première exigence.

3. Comment pouvons-nous les améliorer ?

C'est la plus difficile des trois tâches. Il faut une mise de fonds importante pour élargir et améliorer les systèmes de traitement, ainsi que pour remettre en état et remplacer les canalisations. Il faudra trouver et évaluer de nouveaux concepts pour la substitution des matériaux et des technologies du présent.

Comme il est dit précédemment, des éléments des deux premiers modules (IMS et IAS) existent déjà et sont décrits dans cette étude. Par contre, le système de réparation d'infrastructure (IRS), qui répondrait à la troisième question, n'est pas encore très répandu. En traitant des recherches techniques applicables aux infrastructures linéaires, nous pourrions par cette étude faire le premier pas pour l'établissement d'un IRS et, ultérieurement, la gestion totale de l'infrastructure.

FIGURE 2 - Gestion totale d'infrastructure



Source: Field, T., «Municipal Infrastructure - Scope for Achieving Cost Efficiency/Effectiveness Through Technical Innovation» présenté à l'occasion de l'atelier SCHL - ACCH sur l'infrastructure et l'habitation, les 18 et 19 juin 1992, à London (Ontario).

2.2 Méthodes de calcul

Les services assurés par les installations de traitement d'eau et d'eaux usées se ramifient partout dans l'économie et la société, si bien que si ces installations sont mal gérées, nos biens et nos vies pourraient être préjudiciées. Dans le calcul des réseaux d'infrastructures linéaires, les objectifs sont les suivants :

- assurer et coordonner les services d'eau et d'égout de manière à satisfaire aux besoins essentiels de la population;
- faciliter l'aménagement ordonné des services, selon un plan directeur ou municipal portant sur tout les aspects du développement matériel d'une collectivité;
- réduire au minimum les effets néfastes de ces aménagements sur l'environnement;
- minimiser les accumulations d'eau, les inondations, les dommages immobiliers et les risques pour la santé.

À l'instar de n'importe quel procédé ou système conçu par un être humain, il faut toujours trouver un juste milieu entre les objectifs visés et les contraintes inévitables. Au regard de l'infrastructure urbaine, les contraintes peuvent être d'ordre :

- réglementaire : Quelle autorité (municipale, provinciale ou fédérale) prend la décision ?
- physique : La topographie ou la géographie d'un lieu est le facteur déterminant de l'aménagement et du calcul de l'infrastructure urbaine.
- économique et financier : il n'est parfois pas rentable, à cause de ces conditions, d'assurer le niveau de service requis.

- environnemental : les protestations de la dernière décennie ont changé notre mentalité et donné lieu à une réglementation plus rigoureuse.
- social et institutionnel : les aménagements d'infrastructures ne sont pas acceptés d'office lorsque les gens prennent une plus grande part aux travaux d'urbanisme.

Ces objectifs et ces contraintes ont évolué depuis le siècle dernier au diapason des collectivités urbaines. Lorsque les populations rurales se sont mises à s'agglomérer, elles ont commencé à réclamer des services municipaux qui correspondaient à leur niveau de vie. De nos jours, on veut que les aménagements de l'avenir soient « durables ».

Voici un aperçu des méthodes de calcul actuellement employées pour les infrastructures linéaires et certaines des lacunes qui ont été cernées.

2.2.1 Approvisionnement en eau et traitement de l'eau

Les réseaux d'approvisionnement en eau sont constitués par les sources d'eau brute (superficielles et souterraines) et les installations de traitement de l'eau potable. Les sources d'eau sont fonction de la géographie, de la géologie et du climat. Dans certaines villes des Prairies, dont Regina, il a fallu construire de longs aqueducs pour transporter de l'eau de très loin.

Les canalisations d'eau urbaines sont dimensionnés selon les besoins moyens par habitant, c'est-à-dire les types d'habitations, la clientèle industrielle et commerciale, de même que certains facteurs climatiques et culturels. La quantité par tête est normalement majorée pour tenir compte de la demande de pointe et des services d'incendies. Les fluctuations saisonnières et journalières de l'approvisionnement et les habitudes des consommateurs servent à déterminer la capacité d'emmagasinage. Le coût élevé et le dimensionnement des réservoirs de retenue et des installations de traitement nécessitent la planification à longue échéance de l'aménagement et de l'échelonnement des ouvrages d'eau. Le tableau 2-1 montre combien de personnes sont desservies par des installations de traitement d'eau dans toutes les provinces canadiennes. En 1986, 89 pour cent de la population canadienne l'était.¹⁵

Les réseaux de traitement d'eaux brutes comportent de multiples ouvrages et équipements servant à réduire les solides suspendus et dissous, ainsi qu'à désinfecter et emmagasiner l'eau. Les procédés d'épuration employés varient selon la source et la qualité d'eau souhaitée. Comme la qualité varie aussi avec les fluctuations saisonnières, les changements climatiques et les contaminants en amont, les procédés de traitement doivent être souples et pouvoir être adaptés aux conditions. Pourtant, malgré les sommes importantes qui ont été investies dans les installations d'approvisionnement et de traitement, les inquiétudes concernant le goût et la qualité de l'eau traitée par les stations municipales ont fait grimper la demande pour les services d'eau privés et l'eau en bouteille.¹⁶

Il est rare que les installations d'approvisionnement et de traitement fassent défaut lorsqu'on a prévu des mesures anti-corrosion, une construction bien exécutée et un programme d'entretien préventif dès le début. Les défauts techniques et structurales sont plus communes dans les stations où il y a des éléments inadéquats ou manquants. Les éléments les plus susceptibles de faire défaut sont les équipements mécaniques mal fabriqués ou mal protégés contre la corrosion.¹⁷

TABLEAU 2 - 1
Réseaux d'approvisionnement et de traitement d'eau

	Nombre de villes sondées	Population totale sondée	Villes dotées d'un réseau de distribution d'eau		Population desservie par un réseau de distribution d'eau		Villes dotées de stations de traitement d'eau		Population desservie par une station de traitement d'eau	
			Nombre	Pour cent	Population	Pour cent	Nombre	Pour cent	Population	Pour cent
Alberta	454	1,924,564	406	89	1,919,408	100	348	77	1,905,571	99
C.-B.	152	2,402,949	142	93	2,392,649	100	92	61	2,041,491	85
Manitoba	280	845,469	197	70	817,116	97	169	60	792,957	94
N.-B.	88	409,900	65	74	366,836	89	21	24	256,184	62
Terre-Neuve	323	492,588	249	77	458,385	93	208	64	375,116	76
T.N.-O.	51	48,420	51	100	48,420	100	49	96	45,732	94
N.-É.	113	553,993	89	79	524,585	95	77	68	514,762	93
Ontario	448	8,274,231	430	96	8,248,484	100	386	86	7,443,412	90
I.-P.-É.	24	57,828	9	38	47,303	82	1	4	21,000	36
Québec	1490	6,366,662	1,034	69	5,976,823	94	535	36	5,568,235	87
Saskatchewan	212	630,982	200	94	628,019	100	194	92	613,533	97
Yukon	15	24,576	15	100	24,576	100	11	73	20,500	83
Canada	3650	22,032,162	2,887	79	21,452,604	97	2091	57	19,598,493	89

Source: Inventaire national des équipements en eau des municipalités du Canada - 1986.

2.2.2 Distribution de l'eau

Le calcul des réseaux de distribution est normalement basé sur des critères de niveau de service établis pour la municipalité, ce qui comprend les pressions d'eau nominales pour un débit spécifique. Pour dessiner le système hydraulique d'un réseau de distribution d'eau, il faut disposer de données sur les taux locaux estimatifs de consommation d'eau, sur la répartition géographique des débits nominaux et sur les gradients de pression requis pour le réseau. La consommation horaire de pointe et la consommation journalière maximum plus la quantité requise pour le service incendies doivent être obtenus pour savoir quelle valeur dictera le calcul.

Le volume annuel nécessaire à la lutte contre les incendies est minime, mais la demande peut être très élevée lorsqu'un incendie éclate, de sorte que bien souvent elle régit le calcul des réseaux de distribution, de l'emmagasinage et des appareils de pompage.

On peut estimer la distribution spatiale de la consommation au regard des densités démographiques, de même que des utilisations de terrains à vocation commerciale et industrielle. Il importe, pour la consommation de pointe, de disposer d'un hydrographe estimatif pour chaque type d'usager, de sorte que l'heure précise durant laquelle la somme des débits de composants est la plus élevée sera la valeur de référence du calcul. Les grandes industries influent beaucoup sur les valeurs de consommation, tout dépendant de leur emplacement par rapport au réseau et de la répartition horaire de leurs sollicitations.

Dans les régions où le terrain est très accidenté (collines ou montagnes), on divise normalement le réseau de distribution en deux zones de service. Ainsi, on prévient les pressions très fortes dans les vallées et on maintient la pression à un niveau raisonnable dans les régions à plus haute altitude. Les diverses zones sont généralement interconnectées par des vannes qui s'ouvrent au gré des besoins. Par exemple, les collectivités qui font partie de la région métropolitaine de Vancouver tirent leur eau des bassins hydrographiques de la chaîne côtière, à 570 et 790 pieds au-dessus du niveau moyen de la mer. Il faut de multiples détendeurs pour réduire la pression dans les conduites principales.

Dans les plaines, des stations de pompage d'envergure sont nécessaires pour maintenir la hauteur piézométrique voulue. La ville d'Edmonton, alimentée par la rivière Saskatchewan Nord, doit utiliser des réservoirs intermédiaires et des stations de pompage pour introduire une pression dans les conduites d'eau principales.

Des défaillances se produisent lorsque le calibre des tuyaux et la pression d'eau sont insuffisants pour s'adapter aux changements de la demande, de la croissance et des besoins pour le service incendies. En revanche, une hauteur piézométrique trop élevée peut faire monter les coûts de fonctionnement et occasionner des fuites dans les tuyaux; on dépense alors de l'argent pour le traitement et le transport d'un produit gaspillé. Étant donné les sommes considérables qui sont dépensées pour les réseaux de distribution, il est important que la conception de l'ensemble du réseau soit optimisée sur les plans économique et technique.

Les canalisations finissent par fuir, rompre ou être bouchées par une forte tuberculisation. Parce que canalisations de distribution sont enfouies et qu'il est difficile de les inspecter, de graves problèmes ne sont parfois pas décelés avant qu'une fuite ou une rupture se produise et exige une investigation. La fréquence des ruptures de conduites principales et la quantité de fuites sont des indications de l'état du réseau de distribution. Dans beaucoup de municipalités, les conduites brisent de plus en plus fréquemment et les capitaux requis pour les maintenir en état de fonctionnement sont majorés chaque année.¹⁸

La corrosion des parois extérieures des conduites et, dans une mesure moins grande, des parois intérieures s'est avérée la cause première de détérioration. Les fuites résultantes représentent un gaspillage d'argent. Elles peuvent en outre faire rompre les tuyaux affaiblis qui résistent mal aux forces extérieures. De nombreuses défaillances de tuyaux en fonte ont été analysées et corrigées par les villes de Winnipeg, d'Edmonton et de Vancouver. Les méthodes couramment utilisées pour identifier les secteurs problématiques et réduire les fuites d'eau sont les vérifications d'eau et les enquêtes de détection de fuites.¹⁹ Le curage et le chemisage des tuyaux bouchés par les tubercules sont des techniques de réhabilitation communes.²⁰

Dans l'étude des critères à appliquer pour l'approvisionnement en eau et la conception des réseaux de traitement et de distribution, il ne faut oublier la popularité croissante des idées nouvelles. L'économie de l'eau, surtout dans le secteur résidentiel, est invoquée de plus en plus pour réduire les besoins et les dimensions des ouvrages d'eau actuels et futurs. La figure 3 explique pourquoi.²¹

L'approche classique tiendrait toujours malgré une augmentation de la population, à condition que chaque nouveau résident consomme autant d'eau que les résidents actuels. Or, il est possible de réduire appréciablement la consommation d'eau individuelle au moyen d'appareils de plomberie simples et peu coûteux, dans les salles de bains surtout. Puisque la consommation d'eau résidentielle est normalement la plus élevée (45 %), la baisse de cette demande peut amener une diminution considérable de la consommation d'eau globale, si bien que certains réseaux de distribution, de traitement et d'adduction n'auraient pas à être construits, ou encore seraient remis à plus tard.

Les programmes de sensibilisation publique visant à réduire la consommation d'eau, l'introduction de compteurs pour tous les usagers et une tarification qui encourage l'économie d'eau ou qui correspond au coût réel de l'eau sont d'autres moyens que peuvent employer les municipalités canadiennes pour restreindre l'utilisation d'eau. De plus, une consommation d'eau plus faible est avantageuse au niveau de la collecte, du traitement et de l'évacuation des eaux.

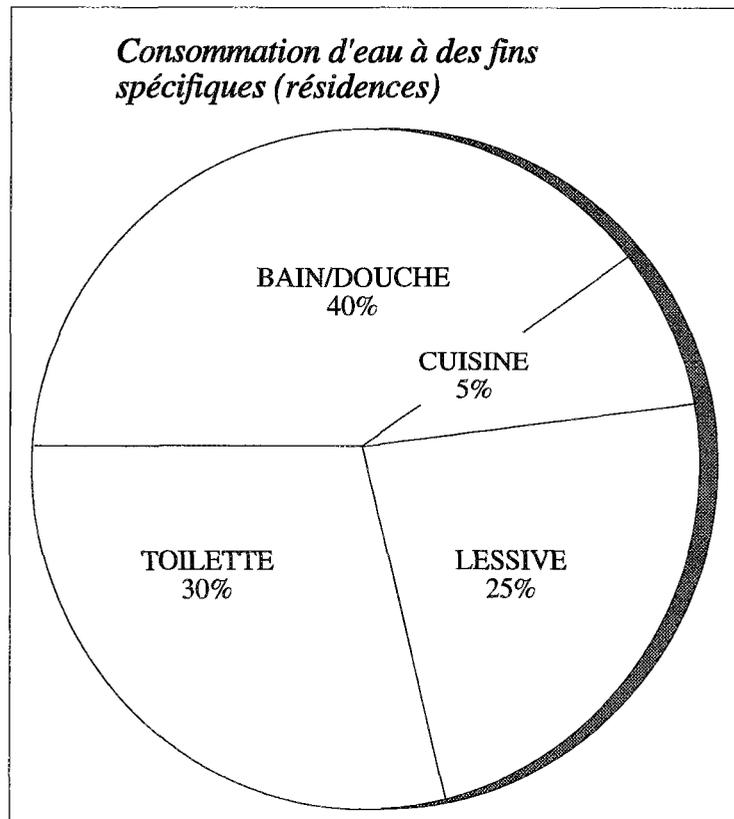
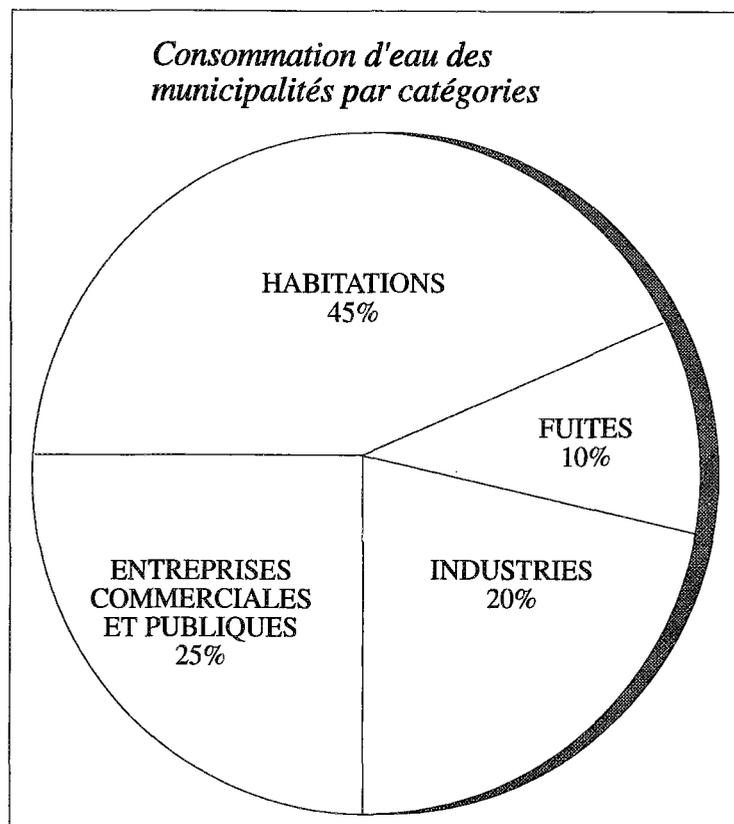
2.2.3 Collecte des eaux usées

Les réseaux de collecte d'eaux usées ont été construits et utilisés au Canada durant l'expansion industrielle et l'urbanisation au tournant du siècle. Plus la population augmentait, plus elle avait besoin de réseaux d'égouts collectifs. Les progrès réalisés dans le domaine de la santé et de l'environnement nous ont fait passer des simples réseaux d'égouts unitaires à des réseaux séparatifs et pluviaux. Les réseaux d'égouts sont maintenant conçus pour recevoir les eaux usées de tous les coins d'un quartier, à savoir:

- branchements séparatifs
- drains de fondation
- tuyaux de descente pluviale
- dérivations d'égouts pluviaux et
- puisards de rue.

C'est ainsi qu'ils ont évolué dans la plupart des municipalités. Les quartiers anciens ont des égouts unitaires reliés aux égouts séparatifs et pluviaux des quartiers plus récents.

FIGURE 3 - Consommation d'eau des municipalités et des résidences (cas typique)



Source: Gates, C. «Water Efficiency - A Growing Challenge», Construction Canada, mai 1993.

2.2.3.1 Égouts unitaires

Les réseaux d'égouts unitaires ont été conçus pour transporter les eaux usées directement au cours d'eau le plus proche. Lorsque sont apparues les stations de traitement, on a construit des intercepteurs pour recevoir le contenu de plusieurs égouts collecteurs et les transporter vers une station d'épuration. À cause de contraintes au niveau des dimensions et du fonctionnement, il fallait limiter le traitement aux déchets sanitaires et à seulement une fraction des eaux de ruissellement. Durant les périodes où les égouts avaient des débits supérieurs à la capacité de la station de traitement, des dérivations ou les égouts séparatifs acheminaient le trop-plein vers un canal de drainage, un lac ou un autre cours d'eau naturel. C'est ainsi que les choses se passaient durant les orages ou aux périodes de pointe des débits journaliers, jusqu'à ce que les stations de traitement atteignent leur pleine capacité. Comme le plus gros de l'urbanisation a eu lieu de long des cours d'eau au début de l'histoire canadienne, peu de problèmes se posaient.

On trouve encore beaucoup de ces déversements de trop-plein par des dérivations vers un lac ou l'océan. Il y avait toujours dans le centre des villes assez peuplées à la fin des années 1930 des réseaux d'égouts unitaires conçus pour déborder lorsqu'il pleut. Maintenant que nous savons que l'eau est contaminée par les eaux d'égout non traitées, les offices de réglementation s'efforcent continuellement de régulariser la quantité et la fréquence du trop-plein. Ceci est possible par la construction d'installations pour la collecte et l'emmagasinage du trop-plein des égouts unitaires, de même que par le traitement préalable à l'évacuation ou une régularisation directe là où la capacité d'emmagasinage des conduites est optimisée par des volets-déversoirs. Certaines municipalités envisagent la possibilité de faire dériver le trop-plein vers les réseaux d'intercepteurs raccordés aux installations de traitement des eaux d'égout, mais cela coûterait cher. Il s'agit notamment de Vancouver, d'Edmonton, de Winnipeg et de Toronto.

2.2.3.2 Égouts séparatifs

Le calcul des réseaux d'égouts séparatifs est basé sur les débits d'eaux usées estimatifs d'un secteur. Les fluctuations horaires de ces débits sur une période de 24 heures sont un facteur important, car les égouts, qui font partie de réseaux généralement gravitaires, doivent pouvoir être capables de recevoir les débits de pointe. Comme le tracé des débits jusqu'au réseau d'égouts séparatifs correspond plus ou moins à la demande d'eau, on peut présumer que le débit de pointe des eaux usées domestiques est équivalent à la demande d'eau domestique. Il faudra donc que les effets de débits plus faibles soient étudiés si des mesures d'économie efficaces sont instituées.

À l'heure actuelle, les municipalités canadiennes se basent sur un apport moyen par habitant, auquel on ajoute un facteur de pointe, pour estimer les débits d'eaux usées résidentielles. Le facteur de pointe nominal est calculé au moyen d'équations basées sur une estimation des densités démographiques. On peut généralement les obtenir des services d'urbanisme municipaux qui possèdent des données de zonage et d'utilisation des sols. Il importe donc que les documents relatifs à l'utilisation des sols soient à jour.

On additionne les apports externes aux débits de pointe des réseaux d'égout. Ces apports externes, à savoir les infiltrations et afflux d'eau (I/A), sont générés de deux façons :

- eaux souterraines
- eaux de ruissellement

Les débits externes ont tendance à fausser l'hydrogramme de base. L'infiltration d'eaux souterraines gonfle le total des volumes journaliers, mais ne modifie pas ordinairement la nature de l'hydrogramme à deux pointes ou la fluctuation diurne. Par ailleurs, les eaux de ruissellement d'un orage peuvent provoquer des changements instantanés; si le volume est élevé, tout le profil de l'hydrogramme peut changer pendant et après chaque orage. Les eaux de ruissellement ont leur origine dans les éléments suivants :

- Descentes pluviales raccordées au réseau séparatif (directement ou par un drain de fondation)
- Couvertles de puits d'accès dans les dépressions de terrain, si les trous servant à soulever le couvercle ne sont pas bouchés
- Drains de surface (puisards de rue, drains de terres basses) raccordés à l'égout séparatif, surtout s'il n'existe pas de réseau d'égouts pluviaux sous la terre
- Drains de fondation raccordés au réseau séparatif

Pendant un orage, les I/A peuvent surcharger les conduites (ce qui fait parfois refouler les eaux d'égout dans les sous-sols) ou les stations de pompage et déborder à différents endroits (dans les cours d'eau ou le réseau pluvial), de sorte qu'ils ne parviennent pas à la station de traitement, qui n'a pas la capacité voulue. L'ampleur des I/A apportés par la pluie sont fonction de la force de l'orage et de l'état des équipements. Beaucoup de réseaux supposément séparatifs fonctionnent comme des réseaux unitaires, et ne recueillent que 20 pour cent des pluies reçues par les puisards de rue. La quantité totale d'I/A peut varier énormément selon le lieu, l'âge du réseau, l'intégrité structurale, l'intensité de la précipitation et les conditions initiales du sol.

2.2.3.3 Égouts pluviaux

Le calcul de l'évacuation des eaux pluviales urbaines est basé sur un certain nombre de variables. Les eaux de ruissellement d'un secteur de drainage sont le produit du climat et des caractéristiques physiques du terrain. Les facteurs susceptibles de déterminer le rapport entre la précipitation et le ruissellement sont le type de précipitation; l'intensité, la durée et la répartition de l'orage; la direction de l'orage; la précipitation antérieure; les conditions initiales d'humidité du sol; le type de sol; l'évaporation; la transpiration; ainsi que la taille, la forme, la pente, l'élévation et l'utilisation du secteur de drainage.

Le nombre de variables qui peut influencer sur les débits d'eaux pluviales est beaucoup plus élevé que ceux touchant les débits d'égouts séparatifs.

À cause de leur expansion tentaculaire, les municipalités continuent de croître, de repousser leurs frontières et d'annexer d'autres villes. Cette expansion exerce une pression sur les réseaux d'évacuation urbains à mesure que les chaussées se multiplient. Il faut donc acheminer des débits croissants d'eaux pluviales à travers les réseaux d'égouts municipaux et sur des tracés en surface.

Des études réalisées dans les années 1960 à Denver, au Colorado, ont fourni des données qui ont permis d'élaborer une stratégie d'évacuation double pour la régularisation des eaux pluviales. Les réseaux d'égouts pluviaux sont toujours conçus de cette façon, c'est-à-dire que l'évacuation des eaux pluviales se fait par deux moyens :

- Il y a d'abord le réseau secondaire, les tuyaux d'égouts pluviaux. Le calcul de ce réseau est basé sur le calibre de tuyau nécessaire pour recevoir les eaux de ruissellement d'orages assez fréquents.

- Il y a ensuite le réseau principal, qui englobe les chaussées, fossés, baissières et autres surfaces de drainage conçues pour transporter les débits dépassant la capacité du réseau secondaire. Le calcul du réseau principal s'appuie sur les objectifs relatifs à la lutte contre l'inondation, au moyen de principes d'écoulement naturel, d'étangs de retenue, de réservoirs et de dispositifs de régularisation des arrivées d'eau, pour ralentir le ruissellement et accroître l'infiltration dans le sol.

Le niveau de service associé aux réseaux d'évacuation principal et secondaire est exprimé comme la fréquence de retour ou la probabilité d'occurrence, en années, dans le diagramme PDI (précipitation-durée-intensité) utilisé pour le calcul du composant de drainage. Les réseaux secondaires sont ordinairement dessinés pour une fréquence de retour de deux à cinq ans, alors que les réseaux principaux ont une fréquence usuelle de 25 à 100 ans, ou plus.²⁴

Les réseaux d'évacuation d'eaux pluviales se déversent directement, dans la plupart des cas, dans le milieu récepteur. Bien que l'eau de pluie proprement dite n'est pas aussi polluée que celle combinée à l'eau d'égout, elle contient tout de même des détritiques, dont du plomb et de l'huile, des excréments d'animaux de compagnie et d'oiseaux, du liquide de déglacage, de la tourbe, des engrais et pesticides, sans compter les déversements interdits. Elle n'a peut-être pas besoin d'être aussi oxygénée que l'eau d'égout traitée, mais les solides en suspension qu'elle contient sont comparables à ceux que l'on trouve dans l'eau d'égout brute, et les métaux lourds parfois présents sont une source de pollution importante. Comme il y a souvent des aires récréatives au bord des cours d'eau recevant les eaux usées urbaines, ces polluants et microorganismes pourraient présenter un risque pour la santé. Même si on a beaucoup parlé du traitement des eaux pluviales, il est peu probable que ceci se réalise dans la plupart des villes, du moins sous peu, à cause du climat d'austérité. Des techniques anti-pollution relatives à l'eau de ruissellement urbaine sont toujours en voie d'élaboration. Une option serait de prévenir les premières vidanges d'eaux pluviales, dont la numération de bactéries coliformes et de métaux lourds contaminants est normalement élevée, d'être déversées dans le milieu récepteur.²⁵

Les meilleures méthodes de gestion (MMG), principe assez nouveau portant sur la gestion des eaux pluviales, gagnent en popularité.

2.2.4 Traitement des eaux usées

Les eaux usées sont traitées pour prévenir la pollution du cours d'eau récepteur. Une fois que l'eau usée des habitations, des industries et des égouts séparatifs a été collectée et acheminée à la station d'épuration, l'effluent est normalement déversé dans des lacs, rivières ou estuaires. C'est habituellement la seule méthode d'évacuation possible et, pour plusieurs villes sises près d'une rivière, la seule manière de s'assurer que les usagers en aval reçoivent de l'eau acceptable en période de sécheresse. Il existe d'autres méthodes d'évacuation, telles que l'irrigation, l'infiltration, l'évaporation par une lagune et les émissaires marins.

Les particularités des eaux usées sont dictées dans une grande mesure par le type de réseau d'égout, la proportion de débits pluviaux et la nature des déchets industriels admis dans les égouts. Le calcul d'une station de traitement municipale doit tenir compte de ces charges hydrauliques, ou encore de la capacité accrue résultant de l'élimination de ces débits par la réhabilitation ou la reconstruction des égouts.

Le traitement des eaux usées municipales vise spécifiquement à réduire la demande biochimique d'oxygène (DBO), la charge en suspension, les pathogènes et les solides inorganiques. Les procédés d'épuration comprennent le traitement préliminaire, le traitement primaire, le traitement secondaire, l'évacuation des boues et un traitement perfectionné pour l'élimination des phosphates et des nitrates, afin de retarder l'eutrophisation des lacs récepteurs. Des critères de qualité ont été établis pour de nombreux milieux récepteurs, pour aider à déterminer le degré de traitement requis avant l'évacuation par dilution. Les normes provinciales relatives aux effluents prescrivent dans la plupart des cas le degré de traitement des eaux usées.

On voit au tableau 2-2 les populations desservies par les stations de traitement dans chaque province et territoire du Canada.²⁶ Au Québec, une fraction seulement de la population est ainsi desservie, quoique le gouvernement provincial ait institué un programme d'aide de 4,4 milliards de dollars pour assurer à tout le moins le traitement primaire de tous les effluents municipaux. Les provinces côtières, surtout les Maritimes, n'ont pas autant de stations de traitement que l'Ontario et les Prairies, surtout parce que beaucoup d'entre elles déversent leurs eaux usées directement dans la mer.

De nombreuses lacunes se sont manifestées dans le traitement des eaux usées. Les stations de traitement construites il y a maintenant une génération ont presque atteint leur pleine capacité, et on sait qu'elles rejettent des effluents non traités sous la forme de trop-plein durant les orages. Un rapport présenté au gouvernement provincial de l'Ontario en 1991 souligne que l'usage excessif d'eau a augmenté la pollution et nous oblige à construire des ouvrages d'eau aux proportions démesurées.²⁷ Il est possible que les stations utilisent des technologies désuètes qui ne pourront pas être élargies ou améliorées de manière économique pour respecter les normes actuelles portant sur les effluents. Lorsqu'un remplacement s'impose, on est de plus en plus conscient que les techniques de traitement classiques se limitent aux procédés biologiques. Ces procédés sont incapables d'extraire les produits chimiques toxiques, les métaux lourds et les autres contaminants dangereux présents dans les eaux d'égout urbaines.

TABLEAU 2 - 2
Réseaux d'approvisionnement et de traitement d'eau

	Nombre de villes sondées	Population totale sondée	Villes dotées d'un réseau de distribution d'eau		Population desservie par un réseau de distribution d'eau		Villes dotées de stations de traitement d'eau		Population desservie par une station de traitement d'eau	
			Nombre	Pour cent	Population	Pour cent	Nombre	Pour cent	Population	Pour cent
Alberta	454	1,924,564	392	87	1,539,442	80	389	86	1,915,668	100
C.-B.	152	2,402,949	141	93	1,645,361	68	134	88	2,195,077	91
Manitoba	280	845,469	164	59	794,601	94	164	59	812,135	96
N.-B.	88	409,900	85	97	374,616	91	80	91	285,498	70
Terre-Neuve	323	492,588	164	51	323,649	66	57	18	62,655	13
T.N.-O.	51	48,420	50	98	40,277	83	18	35	30,901	64
N.-É.	113	553,993	108	96	447,331	81	92	81	177,814	32
Ontario	448	8,274,231	364	81	6,579,956	80	361	81	7,108,322	86
I.-P.-É.	24	57,828	24	100	58,171	100	24	100	53,397	92

2.3 Matériaux

Les infrastructures linéaires sont constituées par toute une panoplie de constructions, d'équipement, de tuyaux et d'ouvrages connexes. Une défaillance importante est rare dans ces installations, si on a prévu les matériaux appropriés et une protection suffisante contre la corrosion, si la qualité d'exécution est bonne et conforme au cahier des charges, et si le programme d'entretien préventif a été observé depuis la mise en oeuvre. Il y a pourtant eu des défaillances de matériaux qui ont provoqué les pires et les plus coûteuses catastrophes dans des infrastructures linéaires.

Les matériaux utilisés dans les infrastructures linéaires varient et sont les principaux facteurs de la détérioration des réseaux d'eau et d'égout, et du besoin de réhabilitation. En général, les matériaux employés ont des pièces métalliques (fonte, fonte à graphite sphéroïdal, cuivre dans le cas des habitations, etc.), hydrauliques (béton, amiante-ciment) et plastiques (PVC). Le choix des matériaux est fait à la lumière du coût, de la disponibilité d'ouvriers spécialisés et de machinerie pour la construction, et de l'accessibilité du site.

2.3.1 Métaux

La durabilité d'un matériau est fortement influencée par les conditions auxquelles il est exposé. Ceci est particulièrement le cas des tuyaux de métal qui doivent être traités contre la corrosion, définie comme la détérioration d'une substance ou de ses propriétés par une réaction électrochimique dans son milieu. Le tableau 2-3 donne les propriétés corrosives de certains métaux présents dans les infrastructures linéaires.

Tableau 2-3
Propriétés corrosives des métaux

Matériau	Résistance à la corrosion	Contaminants potentiels
Cuivre	Bonne résistance générale à la corrosion; sujet à la corrosion résultant de fortes vitesses, d'eau douce, de chlore, d'oxygène dissous ou d'un faible pH	Cuivre et parfois fer, zinc, étain, arsenic, cadmium et plomb des tuyaux et de la soudure
Plomb	Corrodé par l'eau douce à faible pH	Plomb (peut dépasser de beaucoup le niveau maximum de contamination pour le plomb), arsenic et cadmium
Acier doux	Sujet à corrosion uniforme; attaqué surtout par des niveaux élevés d'oxygène dissous	Fer, entraînant turbidité et eau rougeâtre
Fonte ou fonte à graphite sphéroïdal (sans chemisage)	Érosion possible en surface causée par un débit turbulent	Fer, entraînant turbidité et eau rougeâtre
Fer galvanisé	Sujet à corrosion galvanique du zinc par un débit turbulent; la corrosion est accélérée par le contact avec des matériaux en cuivre; est aussi accélérée à température plus haute comme dans les systèmes à eau chaude	Zinc et fer; cadmium et plomb (impuretés dans le procédé de galvanisation peuvent dépasser le niveau maximum de contamination primaire)

Source : Environmental Science and Engineering Inc., 1981.

Les parois intérieures des tuyaux peuvent être corrodées par l'action des débits, par oxydation ou réduction. Les dépôts de cette réaction (appelée tuberculisation) rétrécissent le diamètre intérieur de ces tuyaux, les rendent plus rugueux et réduisent la capacité hydraulique du tuyau. Le diamètre de petits tuyaux en fonte peut diminuer de moitié en cinq ans à cause de l'effet de tuberculisation.²⁸

Les parois extérieures des tuyaux métalliques peuvent aussi être corrodées par l'action électrolytique (électrolyse). Il s'agit d'une action galvanique qui se produit lorsque des métaux différents sont immergés dans une étendue d'eau. Ce type de corrosion survient aux endroits où se rencontrent des tuyaux et ferrures faits de métaux différents, ou encore entre le métal du tuyau et les impuretés dans le métal du tuyau. Les tuyaux posés dans un sol à forte conductivité électrique sont particulièrement vulnérables à l'électrolyse.

La corrosion des tuyaux métalliques peut causer :

- des problèmes relatifs à la qualité de l'eau, lorsqu'il y a lixiviation du matériau du tuyau qui s'infiltré dans l'eau d'alimentation;
- des ruptures de tuyaux à cause d'une détérioration causée par la corrosion des parois intérieures et extérieures;
- une pression trop faible et une baisse de la hauteur piézométrique, car la tuberculisation réduit le diamètre et augmente la rugosité du tuyau.

La corrosion peut être atténuée ou éliminée par une couche protectrice de peinture, de produits galvaniques ou bitumineux, ou par un chemisage de ciment. On arrive souvent à prévenir la corrosion électrolytique par une protection cathodique, réalisée en inversant l'action électrochimique qui cause la corrosion. Comme la prévention de la corrosion est un domaine spécialisé, il est à conseiller de consulter un expert lorsque des problèmes surviennent.²⁹

2.3.2 Produits hydrauliques

De nombreux types de produits hydrauliques sont utilisés dans les infrastructures linéaires. Nous nous limiterons ici aux réseaux en béton à base de ciment Portland, et traiterons brièvement des tuyaux d'eau en amiante-ciment. D'autres produits à base de ciment (comme le grès vitrifié) servent à la fabrication des tuyaux, mais ils n'ont pas fait l'objet de recherches dans le cadre de l'étude.

La performance des éléments en béton utilisés dans les infrastructures linéaires depuis des années a été généralement satisfaisante sur le plan structural. Peu de constructions, anciennes même, ont subi des défaillances structurales causées par une résistance inadéquate du béton, à moins qu'il n'y ait eu d'autres problèmes de durabilité.

Les deux types de défaillances les plus courantes en ce qui concerne le béton sont la perte d'aptitude au service entraînée par une fissuration et des fuites subséquentes, et la perte d'aptitude au service ou une défaillance structurale attribuable à une durabilité inférieure. Les principaux mécanismes qui ont provoqué des carences de durabilité dans le béton sont:

- attaque chimique du béton par l'extérieur, i.e. tuyaux d'égout et stations de traitement attaqués par les gaz d'acide sulfhydrique, lixiviation d'eau acide et *corrosive* des tuyaux d'amiante-ciment et des constructions en béton;
- attaque de sulfates dans les eaux souterraines et l'eau transportée;
- corrosion de l'acier d'armature des éléments structuraux, dans les stations de traitement d'eau ou les stations de relèvement;
- abrasion causée par le charriage de la charge de fond;

- réaction alcaline des agrégats (quand les alcalis du ciment réagissent à certaines formations rocheuses, ils provoquent des fissures de dilatation, des problèmes d'aptitude au service et une perte de capacité structurale);
- mauvaise résistance aux cycles de gel et de dégel.

Les gaz d'acide sulfhydrique qui se dégagent des eaux usées ou de certains produits chimiques industriels peuvent s'attaquer aux ouvrages en béton et causer de graves problèmes de durabilité. L'acide sulfurique fait dissoudre la pâte de ciment durcie et détruit des sections complètes de l'ouvrage. Les longues périodes de rétention (égouts longs et plats), des températures élevées et la turbulence entraînée notamment par les émissaires, tendent à en accentuer l'effet.³¹

Le ramollissement et la lixiviation des matériaux de ciment hydraté sont parfois causés par une eau acide ou très pure, ce qui affaiblit l'intégrité structurale du tuyau. Ce phénomène se produit fréquemment dans les eaux montagneuses qui contiennent de l'acide humique provenant de la tourbe décomposée et d'une quantité appréciable de dioxyde de carbone libre. Les tuyaux d'amiante-ciment sont les plus durement altérés par cette action. La ville de Vancouver-Nord a subi de graves problèmes à cause de conduites d'eau en amiante-ciment qui ont éclaté après avoir été attaqués par les *eaux montagneuses*.

Dans l'ensemble, les effets néfastes de la corrosion de l'acier d'armature sont moins marqués dans les ouvrages d'eau en béton que dans les autres parties de l'infrastructure au Canada. Pour la plupart, les éléments de charpente des infrastructures linéaires sont exposés à des conditions moins propices à l'action de la corrosion, à savoir une teneur élevée en ions de chlorure.

Il se produit d'autres genres de problèmes de durabilité, quoique moins graves, dans les ouvrages d'eau et d'égout. La réaction alcaline aux agrégats est digne de mention, car elle occasionne des problèmes de perturbation, d'expansion et de fissuration. Certaines roches, lorsqu'elles entrent en contact avec les alcalis du ciment, réagissent en formant une gelée expansive. Comme cette réaction est lente (la plupart du temps), on peut mettre bien des années après la construction à la déceler. Le problème est le plus marqué dans les régions du centre et de l'Est du Canada, où le ciment a généralement une teneur plus élevée en alcalis que dans l'Ouest canadien. Par contre, des occurrences ont été signalées dans une moindre mesure à peu près partout au Canada. Vu la nature latente de la dilatation (qui ne se manifeste pas avant une trentaine d'années dans certains cas), l'ampleur du problème reste encore indéfinie. Par conséquent, comme les ouvrages d'eau et d'égout sont saturés, il y a de fortes chances que le potentiel existe partout au pays.

Nous ignorons peu de choses en ce qui a trait au rétrécissement et à la fissuration thermique dans les constructions en béton. Nous pouvons prévenir ces problèmes par certains détails de conception tels l'utilisation de lames d'étanchéité, l'espacement approprié des joints et une quantité suffisante d'acier d'armature. Si la performance de l'ouvrage correspond aux calculs et s'il n'y a pas de fuites excessives, une fissuration a normalement peu d'importance relativement à la durabilité. Ce qui a plus d'importance, ce sont les *microfissures*, invisibles à l'oeil nu. Une trop grande dépendance de mélanges de béton mouillé, l'emploi de mélanges trop maigres (peu de matériaux hydrauliques) et une cure inadéquate en sont les principales causes; le résultat est un matériau plus perméable, donc plus vulnérable à d'autres formes de problèmes de durabilité et la corrosion des armatures d'acier.³²

2.3.3 Plastiques et polymères

On a utilisé, au cours des 40 dernières années, une quantité croissante de polymères dans l'aménagement d'infrastructures linéaires. Les plus notables sont les tuyaux d'eau et d'égout faits de polychlorure de vinyle (PVC), les revêtements de tuyaux d'égout et de conduites d'eau, de même que les garnitures de tuyaux. Par contre, les fabricants de polymères et de plastiques ne se préoccupent de la durabilité à très longue échéance parce que le plus gros de leur marché actuel achète des articles jetables (la durabilité des produits d'emballage étant rarement de plus d'un an et celle des produits automobiles de 10 ans).

Les tuyaux en plastique utilisés dans les infrastructures devraient être homologués par un organisme réputé (CSA au Canada, UL aux États-Unis) qui sont garants de la qualité et de la fabrication du produit. La garantie de durabilité d'un tuyau homologué est assurée par suite d'un essai durant lequel le délai de rupture est mesuré au regard de la contrainte circonférentielle, auquel s'ajoutent des procédures d'assurance de la qualité vérifiées par un tiers durant la fabrication.

Le PVC est le polymère le plus communément employé dans les infrastructures linéaires d'Amérique du Nord; il existe d'ailleurs une centaine de composés de PVC homologués qui sont utilisés dans les tuyaux. Comme ce sont des composés commerciaux exclusifs, on n'en publie que les spécifications.

Un grand nombre des propriétés importantes des tuyaux en PVC sont déterminées dans une grande mesure par les caractéristiques du composé de PVC duquel le tuyau est extrudé. Il faut absolument connaître à fond la classification des composés de PVC pour réaliser comme il se doit le calcul d'un réseau et l'utilisation des produits.

Tous les polymères sont sujets à la dégradation chimique, processus très complexe et variable. Comme le PVC est de façon inhérente le plus instables des polymères, les stabilisateurs mis au point après de longues recherches nous ont donné des composés de PVC durables qui ne devraient pas se détériorer avant 50 ans aux températures souterraines. Il ne semble pas y avoir lieu de s'inquiéter outre mesure de la durabilité à long terme des tuyaux de PVC homologués, mais les cas de rupture de plastique devraient être surveillés de près.

La performance des tuyaux de PVC est étroitement liée à la température de fonctionnement. Parce qu'il s'agit d'un matériau thermoplastique, les propriétés physiques du PVC varient au diapason des changements de température. Les usagers et les ouvriers devraient savoir que les tuyaux de PVC se dilatent et se contractent lorsque la température fluctue. Le coefficient d'expansion thermique du PVC est d'environ cinq fois la valeur normale de la fonte ou de l'acier. Des joints garnis permettent la dilatation et la contraction des tuyaux de PVC.³⁴

Les tuyaux de PVC sont à l'épreuve de presque tous les types de corrosion - tant chimique qu'électrochimique - qui surviennent dans les réseaux souterrains. En outre, le PVC assure une résistance presque totale à l'attaque biologique de microorganismes, tels que les champignons et bactéries, et de macroorganismes de toutes sortes comme les racines de gazon, les termites et les rongeurs.

Comme le plastique est utilisé depuis peu dans les infrastructures linéaires, nous sommes pauvres en information sur ses lacunes ou défaillances. Il y a toujours le danger que des cahiers de charges trop vagues permettent que des matériaux de qualité inférieure soient utilisés là où la durabilité à long terme est importante. De plus, des études récentes portant sur la susceptibilité des tuyaux de PVC à la perméance des solvants organiques (essence p. ex.) dans le sol ont conclu que l'eau potable peut être contaminée dans certaines conditions. Et des usagers qui ont raccordé des conduites à des tuyaux de PVC par temps froid se sont aperçus qu'il y a des risques d'effritement si des précautions ne sont pas prises.³⁷

Les garnitures et revêtements de tuyaux sont aussi faits de polymères. Les garnitures de tuyaux utilisées pour sceller les longueurs de tuyaux de PVC ont suscité certaines inquiétudes. Leur performance in situ semble satisfaisante, mais les spécifications sont limitées. Notamment, la norme CSA exige que ces garnitures soient constituées par un composé élastomérique pouvant maintenir 80 pour cent de son allongement par traction après 96 heures dans un four à 70° C. Cette spécification, basée sur les principes directeurs usuels, ne garantit qu'une vie utile de 10 000 heures à 0° C. Une stabilité à long terme devrait être assurée dans une plus grande mesure et des normes rédigées comme il se doit.

Les garnitures élastomériques sont fabriquées à partir de matières organochimiques pouvant être formulées pour obtenir différentes propriétés. Certains élastomères sont susceptibles à une attaque biologique, alors que d'autres offrent une résistance comparable à celle du polychlorure de vinyle. Les fabricants de tuyaux de PVC choisissent des garnitures à base de composés élastomériques très résistants. Il est impératif, spécialement dans un réseau de conduites d'eau potable, d'avoir un matériau qui ne favorise pas la croissance de bactéries.³⁶

Des revêtements polymères ont été utilisés pour réparer des conduites d'eau et d'égout. Aucune norme ou spécification relative à ces enduits ne semble avoir été établie. S'ils sont faits de polyéthylène noir de première qualité, aucun problème ne se pose, mais certains revêtements en polyuréthane ne devraient pas être utilisés sans vérification de la stabilité hydrolytique du composé.

2.4 Choix du procédé de traitement

Le procédé de traitement de l'eau et des eaux usées employé dans une région est dicté par les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de la source ou du milieu récepteur, ainsi que par la législation provinciale.

2.4.1 Procédés de traitement d'eau

Les Canadiens ont accès à deux sources d'eau potable, les eaux souterraines et les eaux superficielles. L'eau est traitée essentiellement pour respecter les lignes directrices fédérales et provinciales, qui comportent des objectifs et des normes visant à assurer une eau sûre, potable et esthétique. Des procédés sont également utilisés pour prévenir la croissance de bactéries, la corrosion et l'accumulation de sédiments dans le réseau de distribution.

Les procédés de traitement d'eau usuels ont pour objet de prévenir la turbidité, de neutraliser la couleur, le goût et l'odeur, et de désinfecter l'eau. Il s'agit des procédés suivants :

- aération, utilisée pour supprimer les composés volatils olfactifs et odoriférants, et d'autres gaz dissous;
- coagulation-floculation par additifs chimiques qui déstabilisent les colloïdes et les macromolécules, et agglomèrent les particules décantables ou filtrables afin d'éliminer la turbidité et la couleur;
- décantation, pour éliminer les flocons qui se déposent;
- filtration, pour traiter les particules plus à fond et enlever les particules microbiennes;
- adsorption au carbone, pour neutraliser le goût et l'odeur, et aussi clarifier la couleur;
- ajustement du pH, pour prévenir l'écaillage ou la corrosion dans le réseau de distribution;

- désinfection (chloration, traitement aux chloramines, rayons ultraviolets, ozonation, etc.);
- fluoration;
- traitement contre contaminants inorganiques;
- suppression des ions de calcium et de magnésium; et
- autres procédés propres à l'élimination des produits chimiques inorganiques.

L'apport d'eau nécessaire au traitement est fonction surtout de la qualité de la source d'eau brute. Ainsi, parce que l'eau de puits est ordinairement dure, il pourrait être souhaitable de l'adoucir et de la débarrasser de fer et de manganèse. Par contre, elle n'a pas besoin d'être traitée pour turbidité puisqu'elle est très transparente. L'eau provenant de puits profonds est normalement libre de bactéries pathogènes.

L'eau des rivières, ordinairement assez trouble, nécessite un traitement par coagulation, décantation ou filtration. La turbidité de l'eau de rivière fluctue beaucoup dans une année. Elle peut être élevée pendant la crue, mais moins prononcée à d'autres moments. Certaines stations traitant de l'eau de rivière n'ajoutent des coagulants que durant la crue des eaux.

Une désinfection est essentielle parce que les eaux de surface sont presque toutes sujettes à contamination. Les villes qui dépendent des eaux de surface peuvent prendre des mesures pour réduire l'érosion dans les bassins versants afin de réduire le besoin de clarification au minimum. Une étude des 24 programmes de protection des bassins versants des États-Unis a récemment été réalisée par l'American Water Works Association Research Foundation (AWWARF).³⁸

En fin de compte, les procédés de traitement visent à produire une eau potable qui répond aux lignes directrices et aux objectifs des gouvernements fédéral et provinciaux, et à protéger le réseau de distribution.

Si les objectifs fondamentaux portant sur la qualité de l'eau ne sont pas atteints, ce sera pour l'une ou l'autre des raisons suivantes :

- Le fonctionnement actuel du réseau n'est pas optimal.
- La qualité de l'eau brute fluctue.
- Les lignes directrices, objectifs ou préoccupations ont permis récemment de s'attaquer à des contaminants jusqu'ici omis, notamment :
 - formation de trihalométhane après chloration
 - résidus d'aluminium après usage de coagulants à base d'aluminium (alun, par ex.)
 - nouvelles lignes directrices ou nouveaux objectifs concernant la désinfection
 - nouvelles lignes directrices ou nouveaux objectifs concernant l'évacuation des boues
 - pathogènes. (Giardia, inconnu il y a 20 ans, a nécessité 60 ordonnances pour qu'on fasse bouillir l'eau dans les régions intérieures de la Colombie-Britannique en 1991.)³⁹

La plupart des municipalités qui ne traitent pas leur approvisionnement en eau par filtration (Vancouver, Victoria et Winnipeg, entre autres) s'interrogent maintenant sur l'applicabilité des procédés de traitement et les coûts y afférents.

2.4.2 Procédés de traitement des eaux usées

Les stations utilisent les procédés de traitement des eaux usées selon les caractéristiques de ces dernières et la qualité de l'effluent à évacuer. Une station bien planifiée devrait pouvoir être agrandie sans perdre d'efficacité si la charge augmente ou s'il est nécessaire d'améliorer la qualité de l'effluent.

Les procédés classiques de traitement des eaux usées sont axés sur la qualité de l'effluent. Ce sont les procédés suivants :

- préparation préliminaire avant les principaux traitements (grilles, tamis, déchiqueteurs; dessableur; dégraissage);
- procédés de traitement primaire pour l'élimination des matières décantables (fosses septiques d'établissements ou d'habitations, et décantation ordinaire ou chimique avec digestion séparée des boues pour les grandes villes);
- procédés de traitement secondaire pour une oxydation partielle ou complète (i.e. lits bactériens, filtres intermittents à sable, procédés de traitement par les boues activées et étangs de stabilisation);
- élimination des nitrates et des phosphates pour prévenir l'eutrophisation (i.e. élimination du phosphore par précipitation chimique, échange d'ions ou procédé biologique; élimination de l'azote par lavage des gaz, dénitrification, échange d'ions ou procédé biologique); et

- traitement supplémentaire pour améliorer l'effluent (filtres extra fins, chloration, charbon actif et électrodialyse, ou osmose inverse).⁴⁰

Beaucoup de stations à l'heure actuelle ne sont pas capables de produire d'effluents qui ne présentent pas de risque pour le milieu récepteur. Bien que le volume et les débits des milieux récepteurs soient demeurés constants, la croissance urbaine soutenue est maintenant plus exigeante pour la capacité d'assimilation des charges organiques résiduelles des stations de traitement par nos ruisseaux, rivières et lacs. En outre, les effets de certains composés organiques synthétiques persistants et de faibles concentrations de métaux lourds ne peuvent être modifiés par la capacité d'assimilation; ils perdurent ou s'accumulent tout simplement. Ces niveaux menacent l'écosystème et l'utilisation sûre de ces milieux récepteurs.

On s'inquiète de plus en plus de l'évacuation des boues qui restent après le traitement des eaux usées. Ces boues peuvent contenir des métaux et des matières toxiques. La méthode d'évacuation la plus économique est sélectionnée en fonction de l'emplacement de la station de traitement et de la quantité de boues qu'elle produit. Il est souvent possible de les réutiliser, et les frais de traitement sont compensés par la vente des boues traitées au grand public ou aux agriculteurs.

La dernière étape de l'évacuation des boues doit se faire compte tenu de la santé et de la sécurité publiques, ainsi que de la rentabilité. Les méthodes traditionnelles d'évacuation des boues sont le déversement dans la mer, la décharge contrôlée et l'incinération. Dans bien des provinces, le déversement dans la mer n'est plus considéré comme une méthode acceptable à cause des effets nocifs éventuels sur le milieu marin. L'évacuation dans une décharge contrôlée est une solution sûre et acceptable sur le plan écologique, mais les boues doivent concurrencer l'espace avec les autres déchets solides. Les incinérateurs dotés de dispositifs anti-pollution sont parfois une bonne méthode d'évacuation, car les cendres résiduelles ne représentent que 20 pour cent de la quantité initiale de boue. Par contre, dans plusieurs provinces, la raréfaction des terrains aptes à l'enfouissement sanitaire et une réglementation rigoureuse de la qualité de l'air ont réduit les possibilités

qu'offrent les décharges contrôlées ou l'incinération. De récentes expériences en Ontario et en Colombie-Britannique ont montré qu'il est de plus en plus difficile de lancer ce genre d'initiative.

L'Environmental Protection Agency des États-Unis a estimé que les boues produites par les stations de traitement d'appartenance publique font partie des catégories d'usage et d'évacuation suivantes :

• Épandage	41,9 %
• Distribution et mise en marché	5,8 %
• Incinération	13,6 %
• Enfouissement en une opération	2,0 %
• Coévacuation	20,2 %
• Évacuation dans la mer	4,8 %
• Coincinération	0,1 %
• Évacuation en surface	9,2 %
• Autre	1,9 %

L'industrie des eaux usées est l'objet de pressions pour qu'elle emploie des méthodes d'évacuation des boues qui permettent de réutiliser le produit à bon escient. Voici quels usages possibles :

- Épandage de liquide stabilisé ou de boue déshydratée sur le sol
- Compostage avec sciure et déchets de jardin, puis distribution au public et à d'autres usagers
- Séchage des boues pour la production d'engrais

De nouvelles méthodes de réutilisation apparaissent continuellement.

La viabilité de la technologie de récupération d'huile des boues (OFS) a été examinée par Environnement Canada au centre technologique de Burlington. Le Centre a confirmé les résultats d'essais réalisés en Allemagne et construit un réacteur d'une capacité d'une tonne par jour pour des essais pilotes. Une station pleine grandeur a été conçue et devait être mise en service au Highland Creek Treatment Plant de Scarborough (Ontario) en 1994. Le projet a depuis été relégué aux oubliettes à cause de problèmes de financement. Les promoteurs de cette technologie sont en quête d'autres emplacements au Canada et dans le monde entier. De bonnes perspectives s'annoncent au Canada, aux États-Unis et en Europe. Comme pour toute innovation, la premier prototype est le plus important et généralement le plus difficile à mettre sur pied. Et il est toujours moins facile d'exploiter un marché d'exportation pour cette technologie si elle n'a pas d'abord fait ses preuves dans le pays d'origine.

2.5 Exploitation et entretien

Le fonctionnement des réseaux d'eau et d'égout doit être efficace, sinon les infrastructures linéaires ne donneraient pas le rendement voulu pour un investissement considérable. Aux termes de la réglementation provinciale, il incombe à l'entreprise de service public d'assurer le bon fonctionnement de ces installations. Les machines, les bâtiments et les équipements doivent être entretenus pour bien fonctionner. La facilité d'entretien d'un réseau est dictée par le calcul et la construction, bien qu'avec l'âge il doive être entretenu plus fréquemment, et il faut éventuellement le réhabiliter et remplacer des composants importants.

Les réseaux souterrains présentent des problèmes particuliers parce qu'on ne peut les voir et qu'ils sont assujettis à toutes sortes de conditions environnementales. L'espérance de vie utile de ces réseaux est difficile à estimer. Il faudrait s'attacher à le faire afin de pouvoir élaborer de meilleures stratégies de gestion et de prendre des décisions mieux éclairées au niveau municipal (voir figure 2, page). On peut notamment se servir d'une caméra pour faire un balayage visuel d'égout, de concert avec d'autres techniques, pour évaluer les niveaux et dénivellations.

L'entretien préventif peut être un facteur important et positif pour la performance à long terme d'un service public, dont celle de la station et des réseaux. L'entretien préventif devrait comprendre :

- inspection, peinture, lubrification et révisions principales et secondaires des équipements de façon régulière;
- inspection et nettoyage des conduites de distribution et de collecte de façon régulière;
- bonne tenue de relevés. Les relevés d'un programme d'entretien préventif sont d'un grand apport pour l'établissement de budgets dans une optique réaliste et le contrôle des stocks de pièces de rechange.

On a souvent tendance à faire de l'entretien correctif, après une défaillance ou une panne d'équipement.⁴²

Entretien des réseaux d'égout

S'il fonctionne comme prévu, un réseau d'égout devrait s'écouler à une vitesse d'autocurage, être libre de bouchons et opposer une résistance aux ruptures, fuites de joints et envahissements de racines. Ces problèmes devraient être minimisés avec de meilleurs tuyaux, des joints plus solides et plus résistants, et une bonne construction. Or, la plupart des égouts sont vétustes, faits de matériaux qui se détériorent et comportent des joints de qualité inférieure. Il y a cinq grandes catégories de problèmes d'égouts :

- Infiltration d'eaux souterraines dans l'égout par des ruptures dans les tuyaux, des fuites de joints ou un mauvais raccordement au puits d'accès. Elle peut réduire la capacité hydraulique de l'égout, surcharger la station de traitement et provoquer des refoulements d'égout.

- Afflux d'eaux pluviales des descentes pluviales, drains de stationnement, jonctions fautives, etc. dans l'égout. Ces raccordements peuvent surcharger le réseau d'égout, sous la forme de trop-plein et de dérivations de la station de pompage.
- Colmatage par du sable, des débris, des graisses et des racines. Ceci augmente la perte de charge de l'égout.
- Ruptures des tuyaux à cause de pose fautive, de perte de charge due au choc, de mouvements du sol ou de d'autres genres de dommages.
- Dommages causés par des déchets qui ne devraient pas être présents dans l'égout. Il s'agit le plus souvent de déchets industriels liquides qui peuvent être inflammables, très chauds ou contiennent des matières difficiles à transporter dans un égout gravitaire. Un égout fait d'un matériau pouvant être attaqué par un déchet particulier peut s'endommager. Il y a déjà eu, dans des cas extrêmes, des explosions et des dommages catastrophiques.

L'entretien est essentiel pour ne pas perdre l'investissement fait dans un réseau d'égout. Les travaux d'entretien correctifs les plus courants pour ces problèmes sont :

- curage des égouts (hydraulique et dragage)
- remplissage des fuites, fissures et joints
- contrôles de débit pour évaluer les volumes d'infiltration et d'afflux
- télévision en circuit fermé, essais colorimétriques, inspection à vue et essais de dépistage à la fumée pour trouver les sources d'afflux, les jonctions fautives et les tuyaux défectueux
- remplacement des tuyaux ou réhabilitation

Entretien des réseaux d'eau

Le but premier d'un réseau est d'assurer la distribution d'une eau potable de qualité à la clientèle. Pour ce faire il faut des stations de pompage, des réservoirs, des conduites d'eau maîtresses, des robinets de réglage et des bouches d'incendie. Il serait mal avisé pour un service public de dépenser de l'argent pour le traitement de l'eau à la source, les équipements de pompage et le transport, puis de perdre une partie de cette ressource par des fuites, des conduites mal entretenues et des défauts du genre.

Voici certains problèmes rencontrés dans des réseaux d'eau :

- colmatage par tuberculisation, tartre et dépôts de sédiments dans les conduites d'eau maîtresses (sans revêtement surtout)
- rupture des tuyaux d'eau causée pas pose fautive, perte de charge due au choc, mouvements du sol, coups de bélier ou d'autres dommages
- contamination de l'approvisionnement en eau causée par des déchets qui ne devraient pas être présents dans le réseau de distribution, normalement parce qu'il y a une jonction fautive entre le réseau d'eau et le réseau d'égouts séparatifs
- perte d'eau purifiée à cause de fuites dans les réservoirs, de fuites résultant de corrosion ou de joints inadéquats.

Si des mesures ne sont pas prises, un investissement considérable est perdu. Il existe plusieurs mesures d'entretien correctif possibles :

- Inspection à vue et réparation des réservoirs pour assurer suffisamment de solidité et une résistance maximum à la corrosion
- Curage et lubrification des équipements (pompes, vannes, robinets de réglage)

- Vidange des conduites pour déloger les matières étrangères, et nettoyage des dépôts dans les conduites d'eau
- Inspection et vérification des robinets de réglage et des bouches d'incendie
- Chemisage des tuyaux pour accroître l'efficacité et la pression hydrauliques
- Contrôles du réseau, avec ou sans télémétrie
- Rapports sur les problèmes
- Inspection et vérification des compteurs d'eau
- Prévention des jonctions fautives
- Ruptures de conduites d'eau maîtresses et réparations d'urgence

2.5.1 Main-d'oeuvre et matériel

L'exploitation et l'entretien des services publics requièrent des investissements de main-d'oeuvre et de matériel. On blâme souvent les compressions budgétaires lorsque la main-d'oeuvre est inadéquate et le matériel désuet. La formation du personnel incombe normalement à l'entreprise de service public et, en cette ère technologique, elle peut être complexe et coûteuse. Il est important qu'un nombre suffisant d'employés soient formés pour l'industrie.

2.5.2 Méthodes

Autrefois, les opérateurs de stations d'eau et d'égout n'avaient qu'à baisser une manette pour faire démarrer les pompes. Les débits étaient mesurés par un compteur mécanique. Les niveaux de réservoir pouvaient être établis au moyen d'un indicateur à flotteur ou d'un limnimètre. Les vitesses de dosage des réactifs étaient réglées en tournant un bouton sur le doseur. Les débits étaient ajustés en faisant tourner une grande roue à la main. Les réglages et les conditions de fonctionnement étaient notés toutes les heures ou deux, d'après ce que faisait ou voyait l'opérateur. Cette information était laborieusement totalisée, moyennée, résumée et inscrite à la main dans les rapports de fonctionnement mensuels.

Il y a eu des améliorations importantes depuis. Le fruit des recherches réalisées par d'autres industries peut être mis à contribution. De nos jours, nous disposons d'instruments électroniques et de micro-ordinateurs pour rendre les opérations rentables et efficaces. Des ordinateurs de contrôle des procédés peuvent être reliés à chaque pièce d'équipement dans l'installation. L'ordinateur peut aussi servir à l'ordonnancement de l'entretien préventif. On peut entrer dans un fichier permanent sur chaque pièce les travaux d'entretien imprévus, les pièces de rechange et le temps qui y est consacré en heures-personnes. Il est ainsi possible de calculer avec plus de précision les budgets d'exploitation et d'entretien, parce que les fichiers sont exacts et faciles d'accès.

Un SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) est un système électronique informatisé qui remplit les fonctions suivantes :

- acquisition et contrôle des données, à partir d'une ou de plusieurs centraux, des conditions de traitement à d'autres emplacements
- calcul, analyse, stockage et autres fonctions de logiciel, pour convertir les données brutes en informations utiles à la prise de décisions
- affichage et signalement de l'information aux usagers

Les données sont transférées par téléphone, câble souterrain, radio, fibres optiques, satellite ou une combinaison de ces moyens de communication. L'ordinateur central traite les données pour produire des rapports graphiques et sur support papier. Les opérateurs peuvent observer les opérations in situ ou laisser le système fonctionner par lui-même. L'opérateur ou l'ordinateur peuvent donner des commandes à distance pour modifier les opérations.

La disponibilité et la fiabilité des instruments de travail décrits ci-dessus font ressortir le besoin pour les municipalités d'adopter des procédés et des méthodes plus évolués pour la gestion (exploitation et entretien) des infrastructures.

2.6 Compétences

La configuration des réseaux d'eau et d'égout peut intéresser divers intervenants, chacun responsable de l'exploitation et de l'entretien d'une partie du réseau. Il faut départager les compétences de cette façon, car les risques associés aux différentes parties du réseau sont la responsabilité de différents offices de gestion. Il peut surgir des différends au sujet de l'entretien des installations, en commençant par la responsabilité du propriétaire sur son terrain et, pour finir, par les responsabilités régionales ou municipales pour le calcul, l'exploitation et l'entretien du réseau.

2.6.1 Terrain privé

Un réseau urbain comprend les tuyaux, stations de traitement, stations de relèvement et branchements de la conduite maîtresse à l'habitation. Les problèmes associés aux réseaux de distribution et de collecte peuvent être attribuables au branchement. Dans un réseau d'égout, des problèmes tels que jonctions fautives, tassements de terrain, effondrements et infiltration excessive par des fissures ou joints découverts au niveau des tuyaux de branchement créent une importante demande de charge inattendue et polluent tout le réseau. Les appareils de plomberie vétustes ou de qualité inférieure gaspillent l'eau. Des mesures préventives sur le terrain privé même peuvent être encouragées, mais elles sont rarement mises en oeuvre par les propriétaires qui ne sont pas disposés à y consacrer les fonds nécessaires.

2.6.2 Réseaux régionaux

Certains réseaux municipaux font partie d'un réseau régional. Il arrive que les installations régionales soient inadéquates et mal planifiées, à cause du fusionnement de municipalités, parce qu'il n'existe pas de plan directeur pour l'ensemble de la région. Les problèmes sont aussi parfois attribuables aux calculs inadéquats en dehors des limites de la municipalité (i. e. capacité insuffisante du réseau régional de grands collecteurs).

De graves problèmes de calcul dans une municipalité peuvent déborder dans les réseaux régionaux, qui n'ont pas la capacité voulue, et causer des problèmes pour les municipalités voisines.

Certaines municipalités canadiennes sont aux prises avec ce problème de compétences. À Vancouver, c'est le district régional métropolitain qui a la responsabilité du calcul des grands collecteurs, mais la capacité des conduites secondaires est généralement analysée par les municipalités individuellement. Ainsi, l'extrait d'un service public devient l'intrant analysé par un autre, si bien qu'on finit souvent par perdre de vue l'uniformité qu'il faut appliquer aux principes hydrauliques et hydrologiques reconnus.

Une expansion régionale rapide risque de surcharger les installations régionales d'approvisionnement en eau et de transmission à certaines périodes de l'année. Par ailleurs, la croissance et les nouvelles utilisations de terrain peuvent influencer considérablement sur la demande d'eau pour consommation et la lutte contre les incendies. Il en résulte que le niveau de service à la clientèle et aux stations de pompiers devient limité. Ce sont là les répercussions sur le réseau régional et le réseau municipal qui, pour finir, ont besoin d'être élargis et améliorés. Des querelles peuvent survenir quant à la compétence responsable des dépenses importantes.

2.6.3 Financement

Au Canada, les dépenses publiques au titre de l'infrastructure sont importantes, car entre 1970 et 1988, elles ont atteint plus de 11 milliards de dollars par an. Cet argent a été dépensé principalement sur la construction de chaussées, de ponts et de réseaux de distribution d'électricité. Les dépenses au chapitre des réseaux d'eau et d'égouts représentent de 20 à 25 pour cent de ces chiffres annuels.

Comparativement aux autres secteurs de la construction, les dépenses ont baissé en matière d'infrastructures. En dollars réels, le niveau de dépenses est demeuré essentiellement constant au cours des deux dernières décennies, alors que les dépenses pour tous les autres types de construction ont presque doublé.

Les infrastructures sont presque exclusivement financées par les administrations municipales et provinciales, car la part fédérale des dépenses n'atteint même pas les 4 pour cent. De façon générale, les municipalités canadiennes paient les frais d'exploitation à partir des recettes opérationnelles et d'immobilisations, alors que les frais de recherche et développement sont payés par des subventions.

Toutes les provinces, sauf Terre-Neuve, se sont dotées de programmes de subventions pour les frais d'immobilisation et les études dont les coûts sont partagés.

Les fonds d'infrastructure proviennent de trois sources : les bénéficiaires, les contribuables et les investisseurs.

- La plupart des bénéficiaires sont des contribuables qui doivent payer des frais d'utilisation. Les réseaux d'eau et d'égouts canadiens sont principalement financés par ce genre de droits.
- Les taxes foncières imposées aux industries, aux entreprises et aux résidents sont une autre source importante de financement pour les services municipaux d'infrastructure, qui comprennent les réseaux d'eau et d'égouts.
- Les investisseurs privés n'ont pas beaucoup financé les infrastructures par le passé, quoique certains manufacturiers aient joué un rôle clé dans l'avancement de la recherche et du développement sur les matériaux utilisés dans les réseaux d'infrastructures.

On s'interroge à l'heure actuelle sur le financement des installations d'eau et d'égouts. Les méthodes classiques employées pour financer les infrastructures linéaires ne peuvent plus satisfaire aux besoins. Les services publics sont confrontés à des dépenses considérables pour le renouvellement de vieilles infrastructures impropres à l'approvisionnement en eau ainsi qu'à la collecte et au traitement des eaux usées. En outre, ils sont aussi confrontés aux pressions du public et aux initiatives provinciales visant à réduire les contaminants toxiques et les métaux lourds dans l'eau potable et les effluents rejetés dans l'environnement. Ils doivent aussi continuer de financer de nouvelles installations, imposées par la croissance démographique et le développement économique.

Ces difficultés financières existent pour plusieurs raisons :

- Les investissements dans les infrastructures n'ont pas été faits au même rythme que la croissance et le besoin de renouvellement. En Ontario, les investissements dans les années 1980 étaient environ la moitié de ce qu'ils auraient dû être.
- Il arrive fréquemment que la clientèle des services publics n'ait pas à payer directement pour le service qu'elle exige et grâce aux subventions, elle n'a pas à en payer le plein coût. Ceci n'incite pas les consommateurs à utiliser judicieusement les services d'eau et d'égouts.
- Selon les procédures comptables municipales, l'actif immobilisé et les coûts d'amortissement ne sont pas indiqués, malgré le fait que ces données financières de base soient requises pour la bonne gestion des opérations publiques.

Le développement de l'industrie a pris un virage. L'industrie doit, dans les années 1990, en venir aux prises avec les enjeux suivants :

- le besoin d'assurer la durabilité malgré de nouveaux problèmes environnementaux extraordinairement complexes, et

- le besoin de viser la rentabilité à cause de contraintes financières soutenues.

Pour leur part, les consommateurs doivent commencer à payer le plein coût des services qu'ils exigent, et accepter que leurs exigences leur soient refusées à certains moments. C'est le message que l'on retrouve dans le rapport d'Environnement Canada intitulé *Le Plan vert, un défi national (1990)*.⁴⁴

Ce message est d'ailleurs étayé par l'impression croissante qu'ont les Canadiens et d'autres que les tarifs des services municipaux d'eau et d'égouts sont généralement trop bas. La nécessité d'une révision revêt un caractère particulièrement urgent parce que de nombreuses municipalités sont maintenant confrontées à des dépenses considérables pour le renouvellement d'infrastructures vieillissantes, et d'assumer la responsabilité de remédier au problème croissant de la pollution des eaux.

Ici encore, le CCME pourrait faire fonction de catalyseur national pour que nous en arrivions à un point de vue uniforme en ce qui concerne l'eau et l'efficacité.

Un plan d'action national est en voie d'élaboration. L'utilisation plus efficace de l'eau sera la pierre angulaire de ce plan, car elle réduira le besoin d'améliorer le réseau d'addition et de traitement de l'eau, de même que le volume d'eaux usées collectées, traitées et évacuées.

2.7 Réglementation

2.7.1 Mesures législatives

La Loi constitutionnelle partage la responsabilité de la gestion des ressources en eau entre les gouvernements fédéral et provinciaux. Bien que la Loi ne fasse pas état directement de l'eau, les provinces exercent des droits d'exclusivité sur les ressources telles que l'eau à l'intérieur de leurs frontières, compte tenu de leurs compétences sur la gestion des terres publiques, des biens et des intérêts de nature locale. Le gouvernement fédéral possède des droits d'exclusivité sur des ressources de compétence uniquement fédérale, les pêches intérieures et la marine marchande relevant de sa compétence législative.⁴⁵

Gouvernement fédéral

L'eau potable est régie par des mesures fédérales dans la plupart des cas. L'Association canadienne de santé publique, de concert avec Santé Canada, a établi les Lignes directrices sur la qualité de l'eau potable au Canada, en coopération avec les provinces. Il appert toutefois que ces lignes directrices ne constituent que des recommandations concernant la qualité de l'eau potable, de sorte qu'aucune pénalité n'y est assortie si les limites ne sont pas respectées. Pour ce faire, il faut déterminer les concentrations maximums acceptables (CMA) pour les substances potentiellement nocives. En 1989, ces CMA avaient été déterminées et des objectifs esthétiques établis concernant les bactéries coliformes, la turbidité, la température, les produits chimiques, les pesticides, les métaux lourds, les trialométhanes et les caractéristiques radiologiques.

La Loi de 1988 sur la protection de l'environnement (LCPE) a pour objet de protéger l'environnement contre les substances toxiques et la pollution. Elle comporte des dispositions concernant la gestion des substances toxiques tout au long du cycle de vie des produits, c'est-à-dire le développement, la fabrication et l'évacuation. Elle prévoit également une meilleure application et des sanctions plus rigoureuses qu'auparavant à l'égard des pollueurs et des sources de pollution.

Vu ses définitions larges, la LCPE pourrait être appliquée aux eaux usées, aux eaux pluviales et au trop-plein des égouts unitaires.

Il existe d'autres lois fédérales touchant indirectement les ressources en eau, dont la Loi sur les pêcheries, dont le but est de faire en sorte que les lacs et rivières soient libres de pollution et que les stocks de poisson soient conservés pour la pêche commerciale et sportive. La Loi confère aux pêcheurs le droit d'être dédommagés si leur gagne-pain est menacé par la pollution. De plus, le gouvernement fédéral assure l'application de la Loi sur les contaminants de l'environnement, adoptée pour « protéger la santé humaine et l'environnement contre les substances qui contaminent l'environnement ». De l'avis de l'Association canadienne du droit de l'environnement, il s'agit d'un loi qu'on peut seulement invoquer si d'autres lois provinciales et fédérales ne peuvent remédier à un problème environnemental. La Loi sur les produits antiparasitaires porte sur l'eau seulement dans la mesure où les pesticides ou leurs dérivés sont considérés comme susceptibles d'avoir un effet néfaste sur l'approvisionnement en eau, spécialement les eaux souterraines.⁴⁸

Gouvernement provincial

Chacune des provinces a voulu prendre des mesures législatives pour réglementer la qualité et la nature de son environnement. Les gouvernements provinciaux sont responsables d'assurer l'approvisionnement en eau potable, quoique cette responsabilité soit normalement déléguée aux médecins-hygiénistes régionaux. La plupart des provinces réglementent l'évacuation des déchets, les ouvrages d'eau, les ouvrages d'égout et les concentrations d'effluents, entre autres. Ce sont elles également qui délivrent les permis d'exploitation pour les stations de traitement d'eau et d'eaux usées, qui établissent les normes de fonctionnement pour ces ouvrages, et régularisent la qualité des milieux récepteurs.

Les provinces se sont engagées à établir et à appliquer des normes régissant les effluents, qui sont à tout le moins aussi strictes que les normes de référence nationales. À cette fin, elles ont établi des objectifs ou des critères alpha ou numériques sur la qualité de l'eau; elles ont la responsabilité de délivrer les permis d'évacuation et veillent à ce que les titulaires de ces permis en respectent les conditions.

La Colombie-Britannique a légèrement dérogé à cette approche. Sa loi sur la gestion des déchets oblige les municipalités et les districts régionaux à présenter des plans de gestion des déchets pour l'approbation du ministère de l'Environnement, des Terres et des Parcs. Les plans de gestion doivent porter sur tous les déchets liquides, ce qui comprend :

- les effluents évacués par les stations de traitement d'eaux usées;
- le trop-plein des égouts unitaires;
- les eaux de ruissellement urbaines;
- les boues municipales;
- le trop-plein des stations de pompage;

et des dossiers tels que les lotissements dotés d'installations d'évacuation sur place et de programmes de régularisation à la source.

Après approbation, la municipalité est autorisée à gérer les déchets liquides conformément au plan. Grâce à cette loi, il n'est plus nécessaire d'examiner et d'autoriser chaque évacuation de déchets liquides individuellement.

Il faudra toujours, dans l'élaboration du plan, respecter les objectifs à long terme du Ministère en ce qui a trait à la gestion des déchets, et recourir ultérieurement aux meilleures techniques disponibles (MTD). Il ne sera permis d'utiliser la capacité d'assimilation du milieu récepteur, en vue de cerner les options de gestion des déchets liquides, uniquement pour donner le temps nécessaire à la mise en oeuvre des MTD, dans le cadre d'une stratégie à long terme faisant partie du plan.

Outre leur compétence sur les ressources en eau, les provinces chapeautent les organes créés à cette fin, à savoir les administrations régionales et municipales, ainsi que les services publics. Cette autorité revêt les formes suivantes :

- permis de consommation d'eau
- accords pour projets municipaux/provinciaux
- conditions d'approbation en matière d'urbanisme
- codes du bâtiment et de plomberie
- sensibilisation et recherche

Administrations municipales et régionales

Les municipalités sont issues des administrations provinciales. Elles ne possèdent aucun pouvoir législatif, sauf ceux qui leur sont délégués par la province aux termes de la législation. C'est donc par cette délégation de pouvoirs que les administrations locales ont assumé la responsabilité des réseaux d'eau et d'égout. Les municipalités sont ainsi habilitées à construire et à exploiter des ouvrages d'eau et d'égouts, ainsi qu'à en être propriétaires. Elles peuvent aussi prélever des taxes pour les services d'eau et d'égouts.

Avec les pouvoirs qui leur sont délégués, plus particulièrement les droits d'appartenance et d'exploitation d'ouvrages d'eau et d'égouts, elles sont très bien placées pour introduire des innovations dans les infrastructures linéaires. C'est en effet à l'échelle locale que les décisions sont prises sur les matériaux à utiliser et les crédits budgétaires qui seront affectés à l'aménagement et au réaménagement. La personne qui exerce le plus d'influence sur les décisions est l'ingénieur qui prépare les dessins.

Les responsabilités peuvent varier selon le mécanisme mis en place. Ainsi, une municipalité régionale peut posséder les droits d'établissement, d'appartenance et d'exploitation des ouvrages d'eau et d'égouts, alors qu'elle cédera d'autres fonctions aux municipalités locales.⁴⁹

Les provinces consentent des pouvoirs très limités aux municipalités en leur qualité d'organes politiques. Ainsi, comme ces dernières ne peuvent adopter de mesures législatives, elles n'ont pas le droit de légiférer en matière d'économie d'eau, sauf lorsqu'elles réagissent à des pénuries et interdisent l'arrosage des gazons, ce qui pose un problème du point de vue de l'application. Lorsqu'elles possèdent des pouvoirs, leurs mesures ne peuvent avoir préséance sur la réglementation provinciale dans le même domaine. Notamment, même si une municipalité a le pouvoir d'appliquer certains aspects du Code de la plomberie ou du Code du bâtiment, elles ne peuvent pas imposer de normes plus rigoureuses que celles prescrites par la province.⁵⁰ Prenons l'exemple de l'économie de l'eau : la municipalité ne peut pas décréter de règlement exigeant l'utilisation de toilettes à faible débit d'eau si ces dernières ne sont pas déjà prescrites dans le Code provincial de la plomberie.

2.7.2 Codes

Le Code national du bâtiment (CNB) est essentiellement un document prescriptif. Il fait état des moyens qui permettent d'atteindre certains objectifs en matière de santé et de sécurité. Certaines parties du CNB stipulent les niveaux de performance liés à l'intégrité structurale. En pareil cas, il incombe au concepteur de préciser quels matériaux et quel genre de construction sont nécessaires pour atteindre un certain niveau de performance. Par ailleurs, des normes prescriptives offrent moins de latitude dans la construction et le type de matériaux utilisés, mais elles sont plus faciles à faire respecter précisément pour cette raison.

Les codes du bâtiment sont généralement limités à des normes minimums pour assurer l'intégrité structurale, la sécurité incendies et la santé. Le Code du bâtiment de l'Ontario a aussi pour objectif de réduire au minimum les dommages aux biens-fonds. La qualité, la performance et la durabilité sont liées à la réalisation des objectifs de santé et de sécurité, mais ils ne font pas partie comme tel des buts du Code.

On a contesté, dans certaines régions, l'exclusion de la qualité de la performance des codes du bâtiment, l'argument voulant que la réglementation tienne compte de ces aspects comme pour tout autre bien de consommation.

Le CNB et les codes connexes [tels que le Code national de la plomberie (CNP) et le Code national de prévention des incendies (CNPI)] renvoient à quelque 300 normes établies par six organismes de normalisation reconnus à l'échelle nationale :

- American Society for Testing and Materials (ASTM)
- Association canadienne du gaz (ACG)
- Office des normes générales du Canada (ONGC)
- Association canadienne de normalisation (CSA)
- National Fire Protection Association (NFPA)
- Laboratoire des assureurs du Canada (ULC)

Les associations de normalisation sont agréées par le Conseil des normes du Canada pour la rédaction de normes, l'homologation et les essais. Grâce à la fondation du Conseil des normes du Canada en 1970, la préparation et l'utilisation des normes a pu être rationalisée; ce dernier a assuré la supervision des travaux visant à obtenir un consensus durant la préparation des normes et des codes.

Ordinairement, les normes auxquelles renvoie le CNB fournissent les spécifications sur les matériaux, le calcul, la construction et la performance, qui répondent aux exigences du Code. D'autres normes dont il est fait mention décrivent les essais propres à éprouver la performance de matériaux, de systèmes et de dessins. (Voir Problèmes techniques en matière d'habitation et réglementation, p.).

Le Code national de la plomberie, publié par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), est rédigé sous les auspices du Comité associé du Code national du bâtiment. Il énonce les exigences, la conception, les matériaux, les méthodes de construction et les essais pour toutes les installations de plomberie des bâtiments et ouvrages résidentiels, commerciaux et industriels du Canada. Ces installations de plomberie comprennent les réseaux d'eau potable, d'eau non potable, de drainage et de ventilation.

Les codes provinciaux de la plomberie sont basés sur le Code national de la plomberie, mais ils peuvent être adaptés, au besoin. Les divers codes provinciaux de la plomberie indiquent clairement quelles dispositions du Code national de la plomberie ont été modifiées avant leur adoption.

2.7.3 Homologation des matériaux (Normes)

Les normes généralement acceptées et consultées au sujet des matériaux, des produits et de la construction relativement aux infrastructures canadiennes d'eau et d'égouts sont rédigées par l'Association canadienne de normalisation (CSA) et l'American Waterworks Association (AWWA).

Bon nombre des normes de la CSA s'inspirent de celles de l'American Society for Testing and Materials (ASTM), puis on les adapte aux conditions et aux préoccupations canadiennes. Les normes publiées par l'intermédiaire de ces organisations sont élaborées par des comités composés de membres représentant à titre bénévole leur secteur d'activité, c'est-à-dire les fabricants, consommateurs, organismes gouvernementaux et laboratoires d'essai. On a choisi à dessein de ne pas les rémunérer et d'aller chercher des membres aux antécédents variés pour prévenir tout parti pris et obtenir des avis représentatifs de l'industrie de l'infrastructure. Il est regrettable, cependant, que l'établissement et la révision des normes accusent un retard par rapport à l'évolution de l'industrie pour cette raison.

En outre, la CSA est chargée de tester et d'homologuer les matériaux ou produits qui doivent répondre à ces normes. Les essais peuvent être coûteux, fastidieux et sujets à de longs retards d'ordonnancement.

Par son programme d'assurance de la qualité, la CSA évalue les usines par des visites et des examens de rappel périodiques. Une fois accordée, l'homologation CSA garantit que tous les produits, pas seulement les unités testées, sont conformes aux normes spécifiées.

L'AWWA n'a pas de programme d'homologation. Ses normes reportent souvent aux méthodes et aux résultats de l'ASTM. Les usagers doivent exécuter des essais sur des produits individuels ou au hasard (dans le cas des tuyaux, par exemple) sur de grandes superficies privées. Il existe aussi des laboratoires d'essai privés qui peuvent assurer ce service.

2.7.4 Cautionnement de garantie

On exige un cautionnement de garantie pour presque tous les composants des infrastructures municipales d'eau et d'égouts construites par des entrepreneurs. Un cautionnement de garantie est une entente tripartite, à savoir entre le propriétaire, l'entrepreneur et l'organisation garante. Aux termes de ce cautionnement, l'entrepreneur et l'organisation garante assurent le propriétaire que les travaux de construction seront exécutés conformément aux plans, au cahier des charges et au contrat de construction.⁹³

Un cautionnement de garantie se présente sous l'une ou l'autre forme ci-dessous :

- cautionnement de soumission
- garantie de bonne exécution
- cautionnement pour salaires et matériaux
- cautionnement mixte de bonne exécution et de paiement
- garanties d'entretien
- cautionnement de fournisseurs

Un cautionnement de garantie n'est pas une police d'assurance; il qualifie l'entrepreneur à assumer la responsabilité civile liée au projet.

Le cautionnement oppose un obstacle à l'application des fruits de la recherche à des problèmes pratiques. Il peut en effet être difficile d'obtenir un cautionnement pour une innovation, qui n'est donc pas encore éprouvée.

2.7.5 Organisations professionnelles

Toutes les provinces canadiennes exigent que les études techniques soient exécutées ou supervisées par un ingénieur membre d'une association professionnelle. On peut engager un ingénieur d'un bureau d'experts-conseils ou par un autre moyen contractuel. En outre, la plupart des municipalités comptent dans leur effectif des ingénieurs chargés de la planification et des calculs, et de prendre des décisions pour le compte des résidents.

Les associations professionnelles ont des exigences différentes d'une province à une autre, mais leurs membres doivent tous être diplômés d'une école de génie universitaire agréée et posséder un certain nombre d'années d'expérience. Selon le code de déontologie, l'ingénieur est tenu d'« avoir comme premier souci la sécurité, la santé et le bien-être du public »⁹⁴ et de déterminer, par contrat écrit ou non avec ses clients et employeurs, la solution la plus rentable à un problème technique tel que le calcul ou le remplacement d'infrastructures municipales.

Dans l'examen de solutions de rechange, il faut fréquemment tenir compte d'un certain nombre de facteurs, dont les coûts de construction, de même que le fonctionnement et l'entretien à long terme. On peut inclure des considérations moins bien définies telles que:

- espérance de vie
- fiabilité
- performance éprouvée
- risque public et
- responsabilité personnelle ou professionnelle

En tenant compte de ces considérations, on peut choisir des approches qui ont été retenues à maintes reprises dans le passé. Or, c'est aussi ce qui peut entraver le développement et l'application d'innovations dans les infrastructures municipales.

3.0 BESOINS ET TENDANCES SOCIALES AU CHAPITRE DES INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

3.1 Besoins actuels

Si l'on regarde les sommes considérables qui sont investies dans les infrastructures linéaires, on comprend pourquoi il est important d'optimiser les installations existantes. Ceci n'est pas possible sans connaître la composition, l'ampleur, l'âge, l'état, les matériaux, la capacité et ainsi de suite de ces équipements. À l'heure actuelle, l'un des besoins les plus importants est de déterminer un point de départ pour toute amélioration. Les nouveaux progiciels assurent une gestion pratique, efficace et sûre des réseaux et des équipements publics. Avec ces technologies, l'entreprise de service public est à même de répondre à certaines questions portant sur le réseau actuel et ses lacunes éventuelles :

- En quoi consiste le réseau actuel ?
- Quelles en sont les capacités pratiques actuelles ?
- Comment peut-on les améliorer ?

3.1.1 En quoi consiste le réseau actuel ?

Ce n'est que récemment que s'est manifesté le besoin de répertorier toutes les infrastructures linéaires municipales. Il n'est pas facile d'entretenir les infrastructures linéaires sans en connaître la nature. On peut donc se poser les questions suivantes :

- Quelles sont les composantes du réseau ?
- À quand remonte-t-il ?
- Quels matériaux le composent ?
- Dans quel état se trouve-t-il ?
- Avec quelle régularité a-t-on entretenu les composantes ?

Il existe des systèmes de base de données qui permettent de stocker l'information sur le répertoriage, l'entretien, les défaillances et les réparations de tuyaux. Ils peuvent servir à optimiser l'entretien, la réhabilitation et le remplacement d'équipements qui prennent de l'âge. Bon nombre de ces systèmes ont été introduits au cours des 20 dernières années. Mentionnons le système de gestion d'inventaires (SIMS), le système de gestion des inventaires d'eau (WIMS) et le système de gestion et d'entretien de tous les services publics (TUMMS). Ces systèmes de répertoriage informatisé ont permis de cataloguer les réponses à ces questions, à coût raisonnable. À cause du manque de financement et de la pénurie de personnel qualifié, le développement de ces instruments essentiels accuse un retard. Toutefois, pour être mieux en mesure de prévoir les besoins, les municipalités doivent connaître d'abord la taille, l'âge, l'état et les autres caractéristiques de leurs équipements linéaires.

Ces progiciels peuvent facilement être actualisés avec les données recueillies des évaluations périodiques de services publics. Des documents exacts peuvent :

- identifier les secteurs où un sol très corrosif risque de dégrader les tuyaux;
- servir à établir une corrélation entre les propriétés physiques des tuyaux (i.e. matériaux, âge, dimensions, etc.) et la défaillance;
- prédire les ruptures de tuyau avant qu'il n'atteigne un point de détérioration tel que des travaux de réhabilitation ne sont plus possibles et qu'il faille le remplacer à coût plus élevé.

Il est possible, de surcroît, de relier ces systèmes d'entretien et de répertoriage à un Système d'information géographique (SIG). Grâce au SIG, accessible par des moyens graphiques, un service public peut gérer une base de données portant sur les éléments d'infrastructure tels que les réseaux d'eau et d'égouts selon une distribution géographique. Il est aussi capable de développer des applications pour solutionner les problèmes auxquels il est confronté.

Il faut cependant faire des investissements considérables pour le matériel et le logiciel informatique, puis investir encore du temps pour l'entrée et la mise à jour des données.

Il existe toutes sortes d'applications pour la technologie moderne relativement aux besoins d'infrastructures. Certaines grandes villes ont mis au point des bases de données entièrement informatisées sur leurs infrastructures, qui leur permettent de réaliser des analyses statistiques et autres pour les aider dans leurs décisions en matière de gestion.

- C'est ce qu'a fait la ville de Vancouver pour son réseau de distribution d'eau. Les ingénieurs municipaux peuvent afficher à l'écran n'importe quel tuyau de leur réseau et obtenir des détails sur le matériau, la taille, l'âge, etc. Il serait facile d'élargir ce système pour qu'il fasse partie d'un éventuel SIG intégré.
- En Californie, la ville de Palo Alto s'est dotée de l'une des bases de données les plus perfectionnées d'Amérique du Nord. Elle peut obtenir des réponses détaillées, tant sous forme graphique que textuelle, en posant une simple question : « Qu'y a-t-il sous terre ? ».

Conscientes de ce besoin, la plupart des municipalités ont amorcé cette démarche, en embauchant des étudiants dans bien des cas, pour inspecter les éléments d'infrastructure et consigner les données sur le terrain.

3.1.2 Quelles sont les capacités pratiques actuelles ?

Les quartiers anciens comportent généralement des infrastructures dessinées pour des conditions et des normes qui ne sont plus pertinentes aujourd'hui. On sait que les niveaux de service ne sont pas à la hauteur des normes de calcul courantes et des attentes de la population. Les maisons et les rues d'un secteur comportant un égout unitaire risquent davantage d'être inondées que celles des banlieues plus neuves. Pourquoi est-ce ainsi ? Devrait-on viser à assurer le même niveau de service dans l'ensemble du territoire ?

Où l'âge de l'aménagement devrait-il correspondre au niveau de service, tout comme le revêtement ou l'architecture d'une maison ? Que devrait-on faire lorsqu'un quartier se renouvelle, particulièrement s'il y a des aménagements résidentiels/commerciaux intercalaires ? Ces questions ont des ramifications sur les plans juridique, social et technique.

Des programmes ont fréquemment été mis sur pied pour assurer plus de protection contre les refoulements d'égouts (dans les sous-sols) et les inondations de rues. La solution la plus commune consistait à poser des conduites de plus grand diamètre qui ont une capacité d'adduction plus élevée. Bien qu'elles puissent réduire les possibilités d'inondation, elles peuvent en même temps rejeter une plus grande quantité d'eau contaminée dans le milieu récepteur. Les eaux pluviales entraînent avec elles les rejets d'automobiles (particules plombifères, produits de la combustion, caoutchouc et excréments animaux) et les transportent directement aux étangs aménagés à cette fin et aux milieux récepteurs. Il nous faut maintenant des installations de traitement spéciales (étangs de décantation, désinfection, etc.), ce qui représente une augmentation évidente du niveau de service ou de protection que procurent les réseaux d'égouts pluviaux actuels.

De nos jours, la population attend beaucoup de tous les éléments de l'infrastructure linéaire. Nous nous attendons à recevoir de l'électricité sans risque et n'hésitons pas à nous plaindre aux services publics lorsque ce n'est pas le cas. Nous nous attendons à de l'eau potable, à ne pas subir de refoulements d'égouts, et à ce que nos rivières, lacs et plages soient protégés contre la contamination et les accidents environnementaux. Les déchets sont mal vus et l'écologie fait maintenant partie de la conscience populaire. C'est pourquoi une population désormais avisée (donc investie de nouveaux pouvoirs) demande pourquoi il arrive souvent que les eaux usées brutes sont fréquemment évacuées à cause du trop-plein des égouts unitaires et pourquoi on n'est pas intervenu. Une population avisée et responsabilisée n'acceptera pas une eau potable qui présente des carences esthétiques et autres. Les représentants politiques, surtout au niveau municipal, sont l'objet de pressions, qu'ils rejettent sur les épaules des urbanistes et des ingénieurs.

Les ingénieurs et les urbanistes sont confrontés à un public mieux renseigné, qui se prononce, participe de plus en plus et qui mettra des pressions sur les décideurs pour s'assurer que leurs exigences soient entendues et leurs attentes satisfaites.

Les urbanistes et les ingénieurs savent maintenant que les réseaux d'évacuation urbains présentent des risques inhérents sur les plans technique et juridique. Les canalisations des nouveaux aménagements périphériques sont normalement raccordées au réseau existant. Les urbanistes doivent veiller à ce que le niveau de service des quartiers établis ne soit pas compromis par le raccordement des nouveaux quartiers. Il en va de même pour la densification des anciens quartiers, car le fait de passer à une densité plus forte peut faire grimper la population de 10 à 20 fois le nombre antérieur. Il en résulte une augmentation correspondante de la demande d'eau (usage résidentiel, lutte contre les incendies) et d'eaux usées. Il faut faire des analyses minutieuses du réseau pour confirmer que ces projets ne réduisent pas les niveaux de service ailleurs. Si un consommateur venait à subir des dommages (sous-sol inondé, pression insuffisante en cas d'incendie), la municipalité pourrait être tenue responsable.

Une solution technique novatrice est possible lorsque des politiques sont établies, les répercussions étudiées et les objectifs fixés. Le génie moderne fait maintenant appel à une optique intégrée, qui tient compte de toutes les incidences environnementales. On cherche des solutions qui augmentent le niveau de service sans préjudice pour tous les intervenants. Or, on trouve que ceci coûtera très cher. Des techniques éprouvées, de concert avec des matériaux et des méthodes inusités, de même qu'un programme ciblé de transfert d'information, sont nécessaires.

3.1.3 Comment peut-on l'améliorer ?

De toutes les questions, c'est la plus difficile. Pour relever les deux premiers défis, il faut de la documentation, du matériel informatique et des logiciels, des cours de formation et une administration efficace. Quant à la dernière problématique, l'expansion et l'amélioration d'installations de traitement, de même que la réhabilitation et le remplacement des infrastructures linéaires, tout ceci demande des investissements considérables. D'autant plus que nous sommes en période d'austérité et que les prêteurs hésitent à relâcher les cordons de leur bourse. On sent toutefois à l'échelle nationale le besoin de faire quelque chose en face d'infrastructures qui se détériorent. On se rend compte aussi de l'immensité et de la diversité des problèmes de cette nature pour les éventuels bailleurs de fonds. Il faudra éviter de répéter les mêmes erreurs de calcul et de construction. Nous devons aussi assurer la compatibilité des matériaux pour éviter que les réseaux réparés ne présentent des défauts inhérents. Les bailleurs de fonds devront être assurés d'un bon rapport qualité-prix, et que les solutions de rechange aux terrassements de chaussée et aux matériaux usuels soient soigneusement évaluées.

3.2 Besoins futurs

Nous aborderons maintenant les prévisions relatives aux infrastructures linéaires de l'avenir et les facteurs déterminants qui s'y rattachent.

3.2.1 Croissance démographique

À l'échelle planétaire, le Canada se range parmi les pays aux populations les plus faibles par kilomètre carré, si bien qu'il sera forcément perçu comme un bassin d'accueil pour la population sans cesse croissante du monde. Quelle que soit la manière dont évoluera la politique de l'immigration du Canada, ses richesses naturelles abondantes (terres arables, eau propre, ressources énergétiques, espaces verts, etc.) finiront par devoir accueillir une part croissante de la population mondiale. En outre, la mondialisation de l'économie, la croissance accrue des industries de service en général, sans compter les technologies de communication plus évoluées et notre mobilité, tout ceci concourt à ce que nos décisions concernant l'emplacement de nos maisons et entreprises sont basées de plus en plus sur des aspects politiques et la qualité de vie plutôt que sur des critères purement géographiques. L'évolution du régime politique canadien, désormais plus ouvert sur la réalité internationale, fera du Canada un endroit très attrayant pour s'établir et faire des affaires. On doit donc s'attendre à ce que la population canadienne augmente par l'immigration plutôt que par voie naturelle.

3.2.2 Amélioration des infrastructures linéaires

Il faut améliorer l'infrastructure linéaire lorsqu'un composant ne permet plus d'atteindre certains critères environnementaux ou de niveaux de service public. Dans ce contexte, ceci n'est pas nécessairement synonyme de réparations ou de remplacements de réseaux ou de leurs composants. Une amélioration peut être le résultat :

- d'une réglementation environnementale plus rigoureuse touchant l'évacuation des eaux usées;
- de lignes directrices plus sévères sur la qualité de l'eau et de préoccupations concernant la santé publique;

- de changements dans le niveau de service (critères de calcul municipaux) concernant les réseaux de collecte et de distribution.

Des villes côtières comme Halifax et Victoria envisagent de nouvelles stations de traitement d'eaux usées qui répondraient aux exigences actuelles ou futures en matière d'écologie. Les populations qui grossissent et la réglementation environnementale plus rigoureuse demandent l'expansion des stations existantes. La province de la Colombie-Britannique a obligé Vancouver à installer des dispositifs de traitement secondaire dans les stations qui déversent l'eau dans la rivière Fraser.

Les villes qui longent le Saint-Laurent auront aussi besoin d'accroître appréciablement le nombre de stations et le niveau de traitement.

Les lignes directrices relatives à la qualité de l'eau sont élaborées par Santé Canada pour l'ensemble du pays. Les gouvernements provinciaux, qui ont la responsabilité d'établir les normes et d'en assurer le respect, les incorporent à la législation car ils témoignent rarement d'une grande confiance aux stations de traitement qui se trouvent sur leur territoire. Ces lignes directrices vont probablement être resserrées si l'on en juge par les tendances américaines à abaisser la teneur totale en trihalométhanes (les TTHM présentent beaucoup de problèmes dans les Prairies canadiennes; les réseaux de Colombie-Britannique devront subir d'importantes modifications dans le cadre de la réglementation des eaux de surface). Plusieurs grandes villes canadiennes (Winnipeg, Vancouver, p. ex.) n'ont pas d'installations de traitement de l'eau, quoiqu'elles examinent actuellement différentes options de traitement.

3.2.3 Remplacement

Un remplacement s'impose lorsque des installations ou leurs composants ne suffisent plus à la demande ou au niveau de service. Il s'agit par exemple du remplacement de stations pour corriger des procédés déficients qui contreviennent à la réglementation. Les procédés de traitement mis au point dans les années 1960 et 1970 sont désuets et bon nombre de stations installées dans de petites collectivités n'étaient pas bâties en fonction des conditions de l'endroit.

Les réseaux de conduites détériorées (âge, manque d'entretien, matériaux inconvenables) n'offrent plus la performance voulue. Les infiltrations et afflux sont la cause de surcharges, d'inondations et d'évacuation d'effluents non traités dans les masses d'eau avoisinantes. Les réseaux d'égouts unitaires sont des vestiges d'une époque où on ne s'attendait pas à un niveau de service élevé.

L'expansion tentaculaire des villes canadiennes se poursuit malgré qu'elle ait commencé à ralentir et que la densification prenne de l'ampleur. Des réseaux de collecte (pluviaux et séparatifs) devront être prévus pour cette raison, ce qui pourrait nécessiter une prolongation, un remplacement ou, encore, le jumelage des infrastructures existantes.

Les réseaux de distribution d'eau subissent les mêmes pressions que les égouts. Les grandes municipalités sont le plus souvent confrontées à des tuyaux et des ferrures détériorés (corrosion, âge, calcul fautif), de même qu'à une capacité insuffisante pour répondre à la demande résidentielle et de lutte contre les incendies. Dans la région de Vancouver, on s'interroge souvent sur la performance du réseau d'approvisionnement dans l'éventualité d'un séisme important. Des études sur « l'eau saine » ont été amorcées et un réservoir d'eau salée de secours a été mis en chantier. Ce genre d'initiative tend à s'estomper avec le passage du temps, depuis le cataclysme de San Francisco en octobre 1989 par exemple, puis à ressurgir par suite de la publicité entourant l'événement plus récent de Los Angeles.

Les résultats du remplacement envisagé des infrastructures linéaires sont :

- Considération de la fiabilité et de la durabilité à long terme.
- Établissement des priorités relatives aux calendriers de remplacement.
- Emploi de matériaux et de méthodes de construction inusités.

3.2.4 Entretien

L'établissement, la construction et l'exploitation de réseaux de distribution d'eau ou d'égouts sous-entend le besoin universel d'instituer, du début à la fin, un programme régulier d'entretien préventif et de réhabilitation pour protéger un investissement initial important. Ce programme d'entretien devrait avoir pour but de prévenir le gaspillage des ressources, d'atténuer l'usure, la réduction ou l'interruption du service, et de prolonger la durée de vie utile du réseau.

Des études ont montré que des programmes inadéquats d'entretien et de réhabilitation étaient en place dans bien des cas à cause d'un manque de financement ou d'une mauvaise gestion, ou les deux. Ainsi, le niveau de service n'est pas toujours à la hauteur et la durée de vie des ouvrages risque d'être écourtée.^{50a}

Les municipalités devront prendre des mesures d'une importance critique pour que leur réseau d'infrastructures ait une longue vie utile et fiable, c'est-à-dire :

- Prévenir une détérioration du réseau au point où la réhabilitation ne serait plus possible; où le remplacement est la seule possibilité.
- Prolonger la durée de vie utile afin que les programmes de remplacement soient rentables et efficaces, en les assortissant la plupart du temps de mesures d'économie appropriées.

- Adopter des techniques et des stratégies de gestion qui sont efficaces et conviviales.
- Mettre plus d'accent sur l'entretien comme l'une des exigences pour le fonctionnement, la performance et la longévité du réseau.

Il faudrait donc adopter des pratiques et des procédures de gestion modernes, comme celles mentionnées au début du chapitre.

3.3 Tendances sociales

Nous visons ici à dégager, dans les grandes lignes, les divers enjeux sociaux qui influenceront sur la demande spatiale à long terme au chapitre des infrastructures municipales. Outre le financement des infrastructures, qui présente évidemment un problème partout, les enjeux sociaux les plus critiques toucheront surtout les villes moyennes et grandes, ainsi que les régions métropolitaines où les valeurs foncières, le temps et les frais financiers du transport, de même que la capacité d'expansion urbaine, deviendront des facteurs importants. Beaucoup de ces enjeux auront des répercussions universelles, mais ce sont les grandes et moyennes régions métropolitaines qui écoperont le plus.

3.3.1 Distribution démographique

Pour essentiellement les mêmes raisons pour lesquelles le Canada recevra une part plus importante de la population mondiale, les petites et moyennes villes du pays accueilleront vraisemblablement une proportion croissante de la population nationale, alors que les grands centres urbains auront des taux de croissance moyens. Une fois qu'une région métropolitaine a atteint un certain seuil de population, elle commence à offrir moins d'avantages en ce qui concerne la qualité de vie, le temps et le coût du transport, etc. La facilité de communication et de déplacement entre centres urbains permettra aux villes du « second palier », qui n'ont pas encore atteint leur seuil de population, d'augmenter leur potentiel de croissance démographique.

La population rurale du Canada continuera de décliner avec la mécanisation continue et les économies d'échelle dans les industries agricoles où l'on verra moins de main-d'oeuvre. Les centres urbains absorberont généralement une proportion croissante de la population canadienne, les villes petites et moyennes (100 000 à 2 millions d'habitants) étant celles à en recevoir une proportion appréciable.

À l'intérieur des villes mêmes, on peut s'attendre à une transformation de la forme urbaine. Dans les grandes villes, l'expansion tentaculaire a des incidences importantes, dont le coût très élevé des infrastructures, des préoccupations environnementales résultant de l'empiétement des villes sur les zones agricoles et naturelles, de même que la pollution et le coût des déplacements plus fréquents.

Les aménagements à faible densité unifamiliaux ont un lien de dépendance très étroit avec l'automobile, étant donné que peu de résidences se trouvent à une distance de marche des établissements commerciaux du quartier, et que le transport en commun est inefficace dans ces secteurs. Il faudra un jour que les centres urbains soient densifiés pour réduire les coûts de l'expansion tentaculaire.

Non seulement faudra-t-il insister pour que les densités moyennes soient augmentées, mais il faudra passer d'une structure urbaine monocentrique à une configuration décentralisée comportant des noyaux commerciaux/sociaux dispersés sur l'ensemble du territoire urbain.

Il est moins important de nos jours d'assurer la proximité du milieu de travail grâce à l'évolution des communications. En règle générale, les grandes sociétés ont moins besoin d'établir leur siège social au centre-ville, et des aspects tels que l'accessibilité du milieu de travail pour les employés et l'entourage ont pris plus d'importance. Par contre, la proximité des services de soutien revêt de moins en moins d'importance. Le travail à domicile sera de plus en plus amélioré par l'informatique et la télécopie, particulièrement avec les fibres optiques. Un nombre croissant d'employés pourront travailler à la maison tout en restant en contact direct avec un bureau central.

3.3.2 Nouvelles tendances en matière de transport

Sur le plan de l'efficacité, les centres des villes en périphérie des aménagements résidentiels de forte densité peuvent être bien desservis par le transport en commun (réseau en étoile), ce qui peut réduire appréciablement la demande en voitures particulières. La voiture particulière fait tellement partie de notre mentalité nord-américaine qu'il est impensable qu'elle disparaisse (bien que des changements importants au niveau du moteur, comme l'électricité ou les combustibles de rechange, soient inévitables), mais le temps qu'il faut y sacrifier a atteint un point tel qu'on peut penser que la voiture particulière doit faire place à des moyens de transport en commun plus efficaces.

À longue échéance, ces changements vont sensiblement améliorer la relation spatiale entre le lieu de travail et le lieu de résidence. Il en résultera une décentralisation des emplois vers les secteurs historiquement résidentiels, ainsi que des aménagements résidentiels de densité croissante sur le pourtour des noyaux à caractère commercial/social des villes satellites. Pour des motifs tant commerciaux que sociaux, des noyaux se développeront en-dehors du district commercial central que l'on connaît, si bien que la ville à un centre-ville pourrait finir par devenir chose du passé.

3.3.3 Démographie

Il va de soi que le profil démographique du Canada est dominé par le vieillissement de la population et la croissance énorme qui commencera à se manifester dans la catégorie des plus de 65 ans au cours des 10 à 20 prochaines années. Ce phénomène viendra renforcer les tendances susmentionnées, à savoir les villes satellites, offrant un grand nombre des avantages sociaux des grands centres urbains, où l'on pourra mieux vivre pour moins cher et qui attireront les retraités; le logement à plus forte densité gagnera en popularité pour la sécurité et la facilité d'entretien qu'il offre, choses qui prennent de l'importance lorsque les gens avancent en âge; les villes de petite et de moyenne taille où les agréments sont nombreux connaîtront une croissance démographique importante avec l'afflux de retraités, et les villes satellites en périphérie des grands centres urbains verront une croissance similaire.

3.3.4 Incidence des tendances sociales sur les infrastructures linéaires

Avec la pression soutenue sur l'infrastructure urbaine, c'est-à-dire le coût de prolongation et de renouvellement des services municipaux, il faudra se rendre à l'évidence qu'une plus grande densité est plus efficace dans les grands centres urbains. Des politiques visant à réduire l'expansion tentaculaire, qui interdisent l'annexion, limitent les nouveaux lotissements, favorisent le réaménagement qui amène une plus grande densité et une planification circonspecte des réseaux de transport finiront probablement par être acceptées. Pour ce qui est de l'approvisionnement en eau, il faudra opter avec les densités croissantes pour des réseaux de distribution verticaux plutôt que latéraux.

De plus, comme nous l'avons déjà dit, la majeure partie de l'infrastructure des villes canadiennes a besoin d'être remplacée, réparée ou rénovée. Le financement nécessaire au renouvellement des infrastructures usées sera en concurrence avec la demande de nouvelles infrastructures résultant d'une expansion urbaine latérale. Une densification croissante et une meilleure utilisation des infrastructures existantes réduiraient le besoin de construire de nouvelles infrastructures, ce qui libérerait plus de ressources pour la rénovation et l'amélioration des installations existantes.

Il est clair que la souplesse est l'élément clé de la planification à long terme des infrastructures. Si l'on en juge par les cinq dernières années, la vie urbaine subira des transformations sociales et technologiques dans les 50 prochaines années qu'on ne peut même pas imaginer aujourd'hui. La planification des investissements à long terme dans les infrastructures devra tenir compte de la possibilité d'une obsolescence plus rapide en raison des progrès technologiques, particulièrement dans les domaines des transports et des communications. En supposant aucun changement au niveau de la précipitation/fonte nivale, les réseaux d'eau et d'égouts seront quelque peu moins susceptibles à l'obsolescence matérielle/technique. Il faudra d'autant plus faire preuve de souplesse, car une fois qu'on a investi des fonds dans ces éléments d'actif, ces derniers durent très longtemps et doivent demeurer productifs sur une très longue période.⁵¹

3.4 Contexte international

3.4.1 Le défi

On estime que 10 pour cent de la population mondiale vivait dans les villes en 1900. Cinquante ans plus tard, ce nombre passait à 30 pour cent habitant 26 régions métropolitaines comptant 2 millions de personnes ou plus.⁶⁵ Selon les Nations Unies, il y aura d'ici l'an 2000, 78 villes comptant plus de 4 millions d'âmes, et 22 super-villes dépassant les 10 millions. Au nombre de ces 22 super-villes, 18 seront dans des pays en développement d'Asie et d'Amérique latine.⁶⁶

Les villes traditionnelles du Tiers-Monde croissent au rythme de 3 ou 4 pour cent par an, mais les bidonvilles, les lotissements illégaux et les quartiers peuplés par les gagne-petit s'étendent deux fois plus vite. Par conséquent, toute solution novatrice pour la création de villes viables devra prendre en considération la problématique d'une pauvreté urbaine massive.⁶⁷ L'explosion de la population urbaine a apporté avec elle la multiplication des taudis, la paralysie des transports et une pénurie aiguë de logements, d'eau et d'égouts. Contrairement à la plupart des Canadiens, les gens qui habitent ces villes vivent dans des conditions lamentables ou se soucient peu de l'environnement. Sans norme environnementale, ces villes semblent être destinées à devenir surpeuplées, où les habitants risquent d'être victimes de graves maladies rampantes.

Comme le fait remarquer Eberhard⁶⁷, c'est aussi ce qu'on avait prédit pour Paris, Londres et New York au milieu du siècle dernier. « Pourtant, ces villes sont considérées comme parmi les plus civilisées, stimulantes et viables sur terre. » Ce qui les a sauvées, ce sont les progrès de la science urbaine qui ont permis de bâtir et de structurer les villes différemment grâce à toute une nouvelle génération d'inventions et d'innovations urbaines, notamment :

- plomberie intérieure
- chauffage central
- électricité
- acier de charpente pour les immeubles en hauteur
- ascenseurs et monte-charge dans les immeubles en hauteur
- téléphone
- automobile facilitant les déplacements personnels
- métro pour le transport en commun

Plus d'un siècle plus tard, ces réalisations demeurent l'épine dorsale de nos villes.

La manière dont nous avons ramifié nos infrastructures linéaires en Amérique du Nord et au Canada ne sera pas convenable pour les villes du Tiers-Monde. Pour bien des gens, les conditions de vie sont déjà inacceptables. La croissance sera trop rapide pour de lourdes infrastructures tentaculaires, d'autant plus qu'on manque d'argent et d'énergie pour construire des équipements qui en demandent beaucoup. Un grand nombre de ces villes ne disposent même pas des ressources de base pour construire, entretenir et faire fonctionner les infrastructures que nous connaissons.

Il faudra trouver de nouvelles méthodes.

3.4.2 Importance pour les Canadiens

On peut se demander ce que l'évolution de l'urbanisation dans le Tiers-Monde peut vouloir dire pour les infrastructures linéaires du Canada. Il y a deux raisons d'examiner l'avenir des populations urbaines du Tiers-Monde :

- D'abord, la mondialisation économique est devenue réalité. Les Canadiens iront chercher des marchés partout dans le monde pour leurs produits et leurs services. Les plus gros marchés seront dans les pays en développement. Pour être acceptés sans trop de problèmes sur le marché étranger, les produits et services devront être déjà éprouvés. Pour l'entreprise canadienne, cela signifie que le moment est venu, maintenant, de se développer et de faire ses preuves !
- De plus, c'est là que les besoins en équipement sont les plus critiques. Si l'on ne regarde que les besoins au Canada, nos solutions tendent à être axées sur des changements progressifs, mais toujours dans une optique classique, à l'intérieur de nos propres régimes sociaux et politiques. C'est considérant les pas de géant qu'il faudra faire pour satisfaire aux besoins du Tiers-Monde que nous serons mieux préparés non seulement pour les changements qui surviendront sur le marché étranger, mais les changements qu'il faudra opérer ici même.

Marchés internationaux

Le succès du programme PowerSmart de la société hydro-électrique de la Colombie-Britannique est un bon exemple de la manière dont une technologie mise au point au Canada, qui a fait ses preuves, a été appliquée à l'échelle internationale. À cause d'une demande croissante d'énergie, BC Hydro lançait en 1989 le programme d'économie énergétique PowerSmart, pour réduire la demande et ainsi retarder le besoin de construire des installations importantes et plus coûteuses. Ce programme a connu un grand succès et sa pénétration sur le marché des produits énergivores demeure inégalée; maintenant 13 autres services publics canadiens se sont abonnés à PowerSmart pour tirer profit des connaissances de BC Hydro concernant la commercialisation de nouvelles approches pour l'acceptation des économies d'énergie.⁶⁸ Le programme a aussi été repris par des sociétés en Europe, au Mexique, dans les Caraïbes et aux États-Unis. Il y a eu, par ailleurs, des demandes de renseignements et des négociations avec des pays de l'Asie du Sud-Est. C'est là un modèle de solution à un besoin local qui a porté fruit et qui a de longues ramifications pour le monde occidental comme les pays en développement.

Pour réussir, les entreprises canadiennes devront sans doute modifier cette approche légèrement, c'est-à-dire :

- tenir compte des besoins internationaux (i.e. pays en développement)
- trouver une solution basée sur une technologie ou des produits pouvant être appliqués directement au Canada
- mettre la solution en oeuvre et acquérir de l'expérience au Canada
- offrir des technologies ou produits éprouvés aux marchés étrangers

La communauté internationale du bâtiment est consciente du besoin de mettre l'accent sur les besoins internationaux. La construction de bâtiments et d'infrastructures, selon la définition, les priorités nationales et les cycles économiques, représente de 5 à 20 pour cent de l'activité économique nationale. L'industrie du bâtiment doit s'inspirer des progrès économiques, technologiques et gestionnels des autres secteurs d'activité. On pense que c'est le domaine du bâtiment international qui offre la meilleure voie vers de nouvelles approches. L'avenir semble très prometteur si les entreprises de construction se restructurent pour créer des opérations internationales intégrant les technologies de pointe, les nouveaux matériaux, les conceptions novatrices, la production efficace et des sources de financement inusitées. Une clientèle satisfaite, un respect pour la recherche et les produits nouveaux sont les ingrédients du succès de ces entreprises internationales.⁶⁹

Débouchés dans les villes canadiennes

Les gros problèmes qui écrasent les infrastructures internationales et le besoin de changer d'optique existent sur une plus petite échelle partout au Canada, tous les jours. Citons par exemple Vancouver, l'une des régions qui grossissent le plus rapidement au Canada, par suite des migrations de l'étranger et d'autres parties du Canada. Le coût moyen d'une maison à Vancouver est de 10 à 20 fois le salaire annuel moyen des Canadiens. Il va sans dire que la majorité des acheteurs éventuels n'ont pas les moyens d'en acheter une.

Lorsque les prix se sont mis à monter en flèche, il y a eu un essor à grande échelle de construction dans les secteurs avoisinants, où les prix sont plus abordables. Toutefois, ces aménagements croissant vers l'extérieur exercent beaucoup de pression sur les réseaux de transport, l'approvisionnement en eau, la collecte des eaux usées, bref l'infrastructure. Dans certaines collectivités, ces changements depuis cinq ans ont fait passer le niveau de service de tolérable à inacceptable (les navetteurs de Maple Ridge qui mettaient 30 minutes à se rendre au travail le font maintenant en une heure).

On voudrait maintenant que des sommes faramineuses soient investies pour améliorer l'infrastructure et réintégrer le niveau de service précédent. Cet argent proviendrait normalement des taxes générales ou de la tarification moyenne des services publics pour qu'il ne soit pas nécessaire de payer le plein coût. Or, lorsqu'on améliore le niveau de service, on ne fait qu'encourager une croissance vers l'extérieur. Les nouvelles exigences imposées au réseau par cette croissance vers l'extérieur entraînent une réduction dans le niveau de service, puis le cycle recommence.

Autrefois, on se serait forcés de prévoir la croissance sur une période de vie utile raisonnable, puis d'en tenir compte dans les travaux d'amélioration courants. Il y a un hic toutefois lorsque la croissance survient trop rapidement, lorsque les prolongements nécessaires dépassent nos moyens et les nouveaux abonnés n'ont pas à payer le plein coût de l'expansion. C'est essentiellement la situation des infrastructures du Canada aujourd'hui.

Si la croissance projetée se poursuit, il doit logiquement y avoir des limites à l'expansion des réseaux. Il faut donc trouver des solutions de rechange qui auront vraisemblablement des ramifications mondiales.

3.4.3 Nouvelles optiques

Certains concepts nouveaux dans les domaines de l'énergie et de la planification sociale pourraient nous aider à élaborer de nouvelles approches.

Énergie intrinsèque

L'énergie intrinsèque englobe tout l'apport énergétique des matériaux utilisés pour fabriquer un produit fini. Elle renferme également l'énergie nécessaire à l'extraction des matières brutes ou recyclées qui sont utilisées pour la construction des habitations, la transformation de ces matériaux, leur transport, la fabrication secondaire et la mise en chantier.⁷⁰ L'étude intitulée « Optimize : Méthode servant à évaluer l'énergie intrinsèque du cycle de vie d'une habitation », réalisée en 1991, portait sur l'énergie intrinsèque et le coût de tous les matériaux propres à la construction et au fonctionnement d'une habitation tout au long de sa vie utile.

« L'énergie intrinsèque du cycle de vie (comprend) l'énergie intrinsèque utilisée tout au long du cycle de vie d'un bâtiment, dont l'énergie nécessaire pour l'entretien, la réparation et le remplacement des composants du bâtiment, de même que l'énergie requise pour démolir et transporter la structure à la fin de son cycle ».⁷¹ Elle inclut en outre l'énergie et le coût de plantation et d'entretien des arbres, la coupe et le transport du bois, le sciage et le transport du bois d'oeuvre et, enfin, la construction et la finition de l'habitation. »

Elle prend en considération le coût d'élimination des matériaux qui n'ont plus d'usage. Un programme informatique (OPTIMIZE) permet d'estimer l'ensemble de l'énergie et des coûts d'une habitation, qui comprend les coûts énergétiques relatifs à la rénovation, au déplacement et au fonctionnement d'une habitation sur son cycle de vie estimatif d'environ 40 ans.

« L'énergie globale d'un bâtiment est la somme de l'énergie intrinsèque du cycle de vie et de l'énergie de fonctionnement ».⁷⁰ Si nous adoptons une vue d'ensemble en ce qui concerne l'énergie propre au renouvellement et au remplacement des infrastructures, nous opterions probablement pour des méthodes et des matériaux radicalement différents.

Tarification au cycle de vie

On parle des coûts du cycle de vie dans l'industrie et dans la planification municipale des infrastructures depuis de nombreuses années. Cependant, on ne tenait compte normalement que des coûts directs d'immobilisations, de fonctionnement et d'entretien. De même, l'énergie et le coût des matériaux utilisés dans une habitation sont très élevés, mais nous sommes portés à seulement voir les coûts directs, pas les frais cachés de production. C'est un peu parce qu'on s'attend à ce que le bois d'oeuvre soit facilement disponible (ce qu'il est d'ailleurs), car notre industrie et nos infrastructures ont créé une demande et assuré l'approvisionnement.

On ne peut en dire autant pour les pays en développement. Quand nous examinons nos besoins, nous devons voir ce qu'il faut faire pour partir de rien essentiellement et en arriver à une infrastructure fonctionnelle. Des concepts tels que l'énergie intrinsèque et les coûts du cycle de vie se révéleront utiles.

Coûts sociaux

Il ne faut pas oublier non plus les coûts sociaux qui sont associés à l'aménagement et à la construction des infrastructures. Ces coûts visent à attribuer une valeur aux externalités dont on ne tient habituellement pas compte, comme les incidences de la pollution, du bruit, des maladies et accidents, de la perte des richesses naturelles, de l'utilisation des installations publiques, etc.⁷¹ Il a toujours été très difficile de déterminer la nature exacte de ces coûts. Il arrive fréquemment que les chiffres établis reflètent trop le jugement subjectif d'une personne ou le climat social. Un raisonnement est normalement adopté comme un idéal, si bien que des valeurs subjectives sont utilisées de manière intuitive.

Voici un exemple tiré d'un aménagement de Vancouver remontant à 1993.⁷² Le promoteur du projet avait prévu utiliser un réseau de thermopompes puisant l'énergie dans le sol pour chauffer et climatiser les locaux commerciaux et fournir l'eau chaude aux résidences, sans utiliser le gaz naturel.

Les réseaux de thermopompes puisant l'énergie dans le sol coûtent plus cher à installer que les installations ordinaires, mais lorsque les coûts sont calculés sur la durée de vie utile de 20 à 25 ans des équipements, la période de récupération n'est que de trois à cinq ans. Ces pompes à chaleur fournissent 3 \$ d'énergie pour chaque dollar d'électricité utilisée à l'intérieur de l'aménagement.

Les appartements comportent des fenêtres à laminages multiples, un foyer à gaz assez puissant pour chauffer tout l'espace et de la moquette recyclée coûtant presque le double du coût direct de la moquette ordinaire. On n'y trouve aucune plinthe chauffante électrique. Le promoteur est d'avis que l'objectif ne devrait pas être de faire de l'argent rapidement, mais de penser au bilan social et aux répercussions à long terme lorsqu'on construit des logements. Il est intéressant que l'étude réalisée en 1991 par la SCHL intitulée « OPTIMIZE : Méthode d'estimation de l'énergie intrinsèque du cycle de vie d'une habitation » a montré que la moquette est l'élément ayant le plus d'énergie intrinsèque du cycle de vie de tous les produits utilisés dans une maison ordinaire. Les frais de construction de ce projet sont plus élevés, quoique le prix demandé sur le marché ne soit pas si différent des autres, compte tenu de son emplacement à l'intérieur de Vancouver.

Au rythme de développement phénoménal des pays du Tiers-Monde, on sait qu'ils ne peuvent pas émuler l'Amérique du Nord, dont la croissance a été plus lente et progressive, et qui se rend compte petit à petit qu'elle doit changer d'optique. Un article de journal⁷⁴ remontant à mai 1993 en fait foi. L'ouverture récente de la Chine communiste au capitalisme dans la province du Guangzhou a donné un élan remarquable à l'économie, dont la croissance annuelle dépasse les 10 pour cent. Cet essor a toutefois eu lieu au détriment de l'environnement, car il existe de graves problèmes causés par les pluies acides, la pollution des eaux, le smog et la destruction rapide de l'habitat de la faune.

On se demande donc ce que serait une véritable croissance économique si les coûts sociaux étaient considérés dans l'analyse. On fait remarquer dans l'article que la plupart des industries fonctionnent au charbon, qu'on ne peut voir bon nombre de villes chinoises à partir de photos aériennes tellement elles sont polluées, que les émissions d'anhydrides sulfureux vont sans doute atteindre 10 fois le niveau actuel d'ici la fin du siècle et que les pluies acides interviennent déjà pour plus de trois milliards de dollars en dommages annuels aux récoltes.

De l'avis de l'auteur de cet article, d'autres pays ont pu s'enrichir grâce à une croissance économique, mais ils ont pu assainir leur environnement par la suite. Or, vu l'ampleur et la rapidité sans précédent du développement industriel, et vu la pollution causée par ce désir de croissance économique dans une région circonscrite du pays, il semble peu probable que la Chine puisse en faire autant. Les offices de protection environnementale de la Chine ont exprimé des doutes quant à un rattrapage éventuel.

Les possibilités de retombées internationales sont très grandes si cette poussée vers la prospérité déborde les frontières de cette région désignée à cette fin par le gouvernement dans le reste du pays, où vit quelque 25 pour cent de la population mondiale. Pourtant, cette situation ne reflète qu'une partie des problèmes auxquels pourraient être confrontés les pays en développement désireux de s'engager dans la même voie que les villes nord-américaines et canadiennes.

Pertinence pour les infrastructures linéaires

Notre modèle d'infrastructure est aussi inapplicable pour les pays en développement que le modèle économique nord-américain. En effet, le modèle d'infrastructure nord-américain est énergivore, coûte cher et accapare trop de terres et de ressources. Nous devons changer d'optique en ce qui concerne nos besoins et notre consommation énergétiques.

Il nous faut une infrastructure qui nous procure un niveau de vie acceptable tout en nécessitant moins d'énergie et d'argent. Il nous faut trouver des moyens faisant en sorte que moins d'eau ait besoin d'être traitée selon des normes sanitaires acceptables, afin qu'il y ait moins d'eaux usées à traiter et à évacuer, ainsi que des réseaux de conduites plus compactes pour l'adduction d'eau et la collecte des eaux usées. Ceci pourrait inclure également des méthodes plus simples et moins coûteuses de construire et d'entretenir des éléments d'infrastructure, ainsi que des calculs, des matériaux, des méthodes de construction et des procédures opérationnelles qui réduisent les coûts et optimisent la fonction des réseaux d'infrastructures.

Pour avoir une idée de ce qu'il faudrait réaliser, jetons un coup d'oeil sur ce que signale Richard Otis au sujet du Brésil.⁷⁵ Après un examen critique des calculs classiques d'égouts, les Brésiliens ont décidé que les normes de calcul n'avaient plus de pertinence relativement aux matériaux, aux méthodes de construction et au matériel d'entretien moderne. C'est ainsi qu'ils ont pu relâcher les critères de calcul rigoureux concernant les égouts gravitaires pour réduire appréciablement les frais de construction sans en modifier matériellement la nature ou le fonctionnement. Ces « égouts simplifiés » pourraient se répandre non seulement dans les autres pays en développement, mais ici en Amérique du Nord.

4.0 Recherches et technologies pertinentes

4.1 Introduction

On a déjà dit que les Canadiens se sont dotés de réseaux d'infrastructures qui dépassent maintenant leurs moyens. Les fonds affectés chaque année pour le remplacement, le fonctionnement et l'entretien des réseaux sont insuffisants en regard de la valeur des investissements et de la valeur de remplacement totale. En outre, même si le Canada accuse un certain retard par rapport à d'autres pays en ce qui concerne la population desservie par des installations d'eau et d'égouts, bon nombre de nos installations existantes ne répondent même pas aux normes actuelles. Pourtant, les droits d'aménagement ne suffisent pas à nous défrayer des expansions et extensions des réseaux d'infrastructures desservant les nouvelles populations. Lorsque les municipalités s'efforcent d'imposer des taxes qui leur permettraient mieux de payer tous les frais de viabilisation, les constructeurs protestent en disant que le logement deviendra encore plus inabordable. Le résultat est évident. Les contribuables devront accepter une tarification plus élevée pour assurer l'entretien, le fonctionnement, l'amélioration et le prolongement de nos réseaux d'eau et d'égouts de manière adéquate. On sait maintenant, de part et d'autre, que les Canadiens n'attachent pas suffisamment de valeur à l'eau depuis bien des années.

Voilà qu'on annonce cette nouvelle alors que les contribuables canadiens disent qu'ils paient déjà assez d'impôts. Le service de la dette accumulée par les gouvernements fédéral et provinciaux accapare une bonne partie des impôts perçus et oppose un obstacle important à la relance et à la croissance économiques.

Pour maintenir, voire améliorer les niveaux de service, ainsi que protéger la santé publique et l'environnement, il faudra multiplier les dépenses en infrastructures ou encore réaliser des économies importantes en changeant la manière dont nous percevons, planifions, concevons, construisons, exploitons et entretenons nos réseaux d'infrastructures.

4.2 Deux visions pour l'avenir

1. Concours de la maison saine - 1992

L'un des modèles gagnants du Concours de la maison saine organisé par la SCHL en 1992 était une maison à deux chambres basée sur le principe de la responsabilité environnementale. Cette habitation de trois étages cadrerait bien dans un contexte d'aménagement intercalaire et ne nécessite aucun réseau d'énergie ou d'infrastructure. Elle est alimentée par un système solaire passif auquel s'ajoute un poêle à bois pour le chauffage, de même que par un système photovoltaïque pour l'électricité. Cette maison n'a pas besoin des infrastructures d'eau, d'égouts et de déchets; elle est dotée d'un système de récupération de l'eau de pluie, de deux systèmes de purification d'eau, d'un système de recyclage de l'eau de lavage, d'un bac à compostage des déchets organiques et d'appareils de plomberie à débit ultra-faible (y compris une toilette qui ne requiert qu'une tasse d'eau par utilisation). Grâce à sa superficie limitée, elle pourrait être construite à peu près n'importe où, indépendamment de l'infrastructure linéaire. Les occupants de la maison auraient cependant à s'adapter à un nouveau mode de vie.

Alors qu'il faudrait que les occupants repensent certains aspects de la maison, une nouvelle mentalité aux divers paliers gouvernementaux en ce qui concerne les codes et règlements se buterait probablement à une opposition générale, car la maison n'a aucun lien de dépendance avec les infrastructures linéaires basées sur les techniques contemporaines. Elle peut sembler futuriste à certains égards, mais si l'on pense au téléphone cellulaire qui assure la communication sans dépendance des réseaux câblés, on n'aurait pu imaginer ce genre d'indépendance il y a 10 ans.

2. A Third Generation of Urban System Innovations⁶⁷ (John P. Eberhard)

Dans cet essai, Eberhard présente sa vision des villes et des habitations d'un avenir assez proche :

- Les maisons seront constituées par des modules préfabriqués tridimensionnels à grande échelle, que l'on pourra superposer et agencer de différentes façons et dont les installations électriques et mécaniques seront interconnectées; ces modules seraient assemblés dans les rues existantes qui deviendront désuètes, ce qui permettra de densifier plus facilement.
- Les gens se déplaceraient entre les modules superposés dans un réseau de transport où il suffirait d'entrer un code similaire à un numéro de téléphone.
- Des systèmes biotechniques remplaceraient la plomberie intérieure; ils ne nécessiteraient pas d'eau ni d'égout, et pourraient être remplacés aussi facilement qu'une ampoule électrique.
- Des appareils autonomes ne nécessitant aucun combustible fossile remplaceraient le chauffage central.
- Des sources d'énergie hydrique, éolienne et géothermique viendraient se substituer aux combustibles fossiles; la supraconductivité serait mise à contribution pour emmagasiner et transmettre l'énergie; l'ensoleillement de chaque logement serait assuré par fibres optiques le jour, puis emmagasiné pour usage le soir.
- Des appareils de communication autonomes transmettraient la voix, les données électroniques, les émissions diffusées et les images, ainsi que la radio et la télévision; tous les logements seraient reliés par fibres optiques.
- Des dispositifs de déplacement personnel (nacelles), capables d'assurer le transport en trois dimensions, remplaceraient l'automobile; nous n'aurions désormais plus besoin de voirie pour les déplacements locaux.

- Des collecteurs multiples grouperaient ces dispositifs de déplacement personnel, qui parcourraient de longues distances à haute vitesse, remplaceraient le train et l'avion.

Même si cette vision semble futuriste et nous obligerait à modifier radicalement la manière dont nous vivons, mais l'auteur avance des arguments valables sur l'évolution de la technologie, hier et aujourd'hui, et sur les changements rapides qui céderont à des petites étapes progressives. Il signale d'ailleurs que nos villes sont bâties d'après des innovations semblables remontant à la fin du XVII^e siècle, époque où les grandes villes tristes et pauvres sont devenues des centres pleins de vitalité, et ultérieurement les métropoles du XX^e siècle.

La technologie qu'il envisage n'est pas si difficile à imaginer par rapport au présent. Le seul élément qu'il resterait des infrastructures actuelles est l'approvisionnement en eau potable. Par ailleurs, certains obstacles devront être surmontés pour que l'opinion publique accepte ce genre de ville. Mais il faut comprendre que les villes ne peuvent pas continuer de se développer toujours vers l'extérieur, mais plutôt vers l'intérieur et vers le haut.

4.2.1 Pertinence pour les infrastructures linéaires

Non seulement ces visions sont-elles réalisables, mais elles sont plausibles. Elles expriment le besoin d'avoir un minimum d'infrastructures par rapport au présent. Pour les besoins du Tiers-Monde, c'est sans doute la seule solution possible.

Lorsqu'on passe en revue l'évolution technologique des 40 dernières années, il est évident que des changements d'envergure se sont produits. Notamment, les transistors ont remplacé les gros tubes peu fiables; les ordinateurs qui remplissaient toute une pièce il y a des années avaient moins de capacité que la calculatrice de poche moderne. Les visions d'Eberhard pourraient donc aisément se concrétiser au cours des 40 à 60 prochaines années, et certainement durant le cycle de vie des éléments d'infrastructure qu'on pose de nos jours.

C'est là peut-être la voie de l'avenir, mais ce ne se fera pas du jour au lendemain. On ne peut simplement abandonner nos réseaux actuels et changer radicalement d'optique sans que cela ne coûte très cher. Dans certains cas, nous n'avons pas encore la technologie nécessaire ni l'appui important de la population (ce dont fait état la section 2.7 du présent rapport).

Qu'est-ce que cela signifiera pour nos réseaux d'infrastructures existants à court terme, c'est-à-dire d'ici 20 à 30 ans ? Sur cet horizon, on prévoit que la population mondiale passera à plus de 7 milliards d'habitants, dont la proportion urbanisée pourrait atteindre la moitié. Pendant ce temps, les populations des principales villes canadiennes devraient augmenter d'environ 40 pour cent. Le plus souvent, les terrains disponibles à l'intérieur de ces villes sont déjà délimités et ne pourraient pas augmenter de 40 pour cent. De plus, les infrastructures nécessaires dans cette éventualité ne peuvent continuer de se développer vers l'extérieur pour accommoder notre mode de vie actuel, tout en maintenant le prix des logements à peu près au niveau actuel.

4.3 Technologie de pointe actuelle

Quand et comment nos infrastructures vont-elles changer ? Quelles mesures faudra-t-il prendre pour nous aider dans la transition, quelle qu'elle soit ?

4.3.1 Méthodes de calcul

Grâce à l'**informatisation**, les municipalités sont à même d'exécuter des analyses précises et détaillées des réseaux et composants d'infrastructures. Elles peuvent aussi faire des analyses exhaustives des réseaux en temps réel, durant un orage notamment, pour les réseaux de collecte des eaux pluviales et d'égouts unitaires, ou durant la demande de pointe pour les réseaux d'approvisionnement en eau et de distribution. Les réseaux peuvent ainsi être optimisés et réduits par rapport aux anciennes méthodes de calcul qui étaient basées sur la demande de pointe.

Des composants et des solutions de rechange, telles que la régulation de l'approvisionnement en eau et des rejets d'égouts unitaires, pourraient remplacer les conduites surdimensionnées. Les concepteurs pourraient désormais faire preuve de retenue pour nous donner des concepts plus économiques.

Les instruments d'analyse qui permettent d'optimiser les calculs sont disponibles à bas prix (logiciel et matériel). Toutefois, il est plus facile et moins cher de les mettre sur pied et de les calibrer si le réseau souterrain a déjà été répertorié dans une base de données.

- Des modèles d'analyse dynamiques propres à l'évaluation des réseaux d'évacuation (pluviaux et séparatifs) existent déjà. SWMM, SAM, HYMO et OTTSWMM ont déjà été appliqués avec succès dans différentes circonstances. L'ingénieur doit se familiariser avec les valeurs et les limites de chaque progiciel avant de choisir un modèle. Étant donné la diversité des bassins d'alimentation et des aménagements dans de nombreuses municipalités, plus de modèles pourraient être pertinents, soit SWMM pour l'analyse d'un égout séparatif et HYMO pour l'analyse d'un bassin d'alimentation essentiellement rural, où l'extrait de l'un devient l'intrant de l'autre. Les modèles utilisés pour l'analyse des réseaux d'égouts séparatifs devront être capables d'évaluer l'afflux et l'infiltration, facteurs importants de la performance des égouts séparatifs. Avec ces instruments, une municipalité peut évaluer son réseau existant, élaborer des programmes correctifs au besoin, puis évaluer les incidences de différents scénarios d'aménagement.
- On peaufine continuellement les programmes de simulation de réseaux d'égout complexes. Reid Crowther, à l'aide d'une subvention PAREL du CNRC, a mis au point les programmes WINSTDY et RVNSTDY qui simulent certains des phénomènes les plus difficiles des réseaux d'évacuation urbains tels que les effets de refoulements d'eau et les réseaux hydrauliques en boucle. Ils prévoient aussi la régulation en temps réel des ouvrages de régulation de débit. Certaines applications ont été couronnées de succès sur de gros réseaux d'égouts à Hamilton (Ontario), à Seattle (Washington) et à Liverpool (Angleterre).

- Des progiciels similaires ont été élaborés pour l'analyse des réseaux de distribution d'eau. On trouvera une évaluation des programmes à diffusion générale dans une communication sur les travaux d'entretien pour la Ville de Toronto.⁵⁹ Ils sont devenus des instruments indispensables pour les ingénieurs municipaux appelés à déterminer l'incidence des nouveaux aménagements et les besoins d'expansion et d'amélioration. La Ville de Vancouver a mis sur pied et calibré un programme exhaustif d'analyse de réseau. Lorsqu'un promoteur présente une proposition de densification pour le centre-ville, les ingénieurs municipaux sont en mesure d'en analyser les incidences pour le réseau de distribution en eau, de déterminer si la capacité est suffisante pour l'usage domestique et la lutte contre les incendies et, dans la négative, d'examiner les options relatives à l'amélioration du réseau pour atteindre le niveau de service requis.^{60,61}

On relie maintenant couramment les modèles d'analyse aux systèmes d'information géographique (SIG) ou à d'autres systèmes de gestion des stocks qui peuvent aussi aider à optimiser le fonctionnement, l'entretien et la réparation (remplacement) des réseaux. D'après l'information répertoriée concernant l'âge, l'état, la composition et la corrosivité du réseau ou les autres causes de défaillance du réseau, on peut établir un calendrier de renouvellement (réhabilitation ou remplacement) pour divers composants avant que quelque chose ne fasse défaut. Il peut en coûter de 10 à 100 fois plus cher de réparer plutôt que de remplacer au bon moment. Voilà comment ce genre de système permet de réaliser des économies et facilite l'ordonnancement des travaux d'entretien et de réparation.

Le traitement biologique (BNR) est une autre solution optimale qui a récemment été appliquée dans une station de traitement d'eaux usées aux États-Unis. La Virginia Initiative Plant (VIP) a mis en application un procédé de traitement biologique qui vient d'être breveté, pour assurer le traitement anticipé des eaux usées dans une installation conçue à la lumière des normes de traitement secondaires. En utilisant un procédé biologique plutôt que chimique, la VIP n'est pas confrontée aux coûts et aux problèmes de manutention des boues qui sont associés au traitement anticipé des eaux usées, et les frais de fonctionnement ne sont que de 5 pour cent plus élevés que ceux du traitement secondaire que l'on connaît. Cette station, qui utilise des bactéries qui « mangent » les nitrates et les phosphates traversant les installations de traitement primaire, est la seule à l'appliquer à des débits rapides. Ce genre d'installation est prometteuse pour les installations de traitement qui évacuent les affluents dans les cours d'eau menacés et les écosystèmes fragiles.^{76,77,78}

Le traitement biologique de l'eau potable commence à se répandre en Amérique du Nord après de nombreuses années de succès en Europe. Le traitement biologique de l'eau favorise suffisamment d'action microbienne durant le traitement pour éliminer les nutriments qui risquent de laisser croître trop de microbes dans l'eau traitée. Dans une certaine mesure, un traitement biologique est aussi assuré par des filtres rapides ou lents à sable. Le procédé qui semble le plus efficace toutefois est à base de charbon biologiquement actif, qui renferme un oxydant, normalement de l'ozone, qui stimule l'activité microbienne dans les filtres au charbon actif granuleux en convertissant les composés organiques relativement stables en des substances rapidement biodégradables qui peuvent être adsorbées sur le filtre au charbon actif granuleux ou consommées par les microbes.⁷⁹

Le **Supertube** est une nouvelle approche inventée par les Suédois pour la conception et l'établissement de services publics. Il dessert tous les services publics souterrains à l'intérieur d'un seul tunnel comportant un conduit de très grand diamètre (2 mètres), fait de béton ou de plastique, dont les tuyaux sont installés au moyen de vérins. Il s'agit d'un grand ponceau en béton pouvant recevoir les tuyaux d'eau et d'égouts, de même que les lignes électriques et téléphoniques. Il offre comme avantage d'éliminer les problèmes de tassement, d'accélérer les délais d'installation des services et d'être facile d'accès pour l'inspection et l'entretien. On est en train d'en installer un dans une région où les conditions du sol sont mauvaises pour démontrer les importantes économies qu'il offre dans les nouveaux aménagements en raison des risques moindres de tassement de terrain. Le coût du projet de démonstration au nord de Stockholm ne fait même pas la moitié de celui des méthodes de construction classiques qu'on aurait utilisées dans un sol argileux instable à cet endroit. Ce projet, financé par le Conseil suédois de recherche en bâtiment, est devenu un modèle de coopération entre organismes, car il a rassemblé de nombreux services municipaux et organismes chargés d'aménagement urbain, de même que des ingénieurs conseils et des entreprises de construction qui ont fait équipe.⁸⁰

4.3.2 Matériaux

Il est rare que des installations subissent des défaillances importantes si les concepteurs ont prévu les matériaux convenables et une protection anti-corrosion, si la construction a été bien exécutée et selon le cahier des charges, et si un programme d'entretien préventif a été suivi depuis la construction. C'est au premier palier que de nouvelles technologies et de nouvelles approches peuvent être appliquées le plus facilement. En fait, un ingénieur en matériaux devrait faire partie intégrante de l'équipe technique chargée de la conception des principaux éléments d'infrastructure.

Une bonne **protection anti-corrosion** peut prolonger la durée de vie utile des éléments d'infrastructures d'eau et d'égouts, en maintenir l'aspect, réduire les coûts de fonctionnement et d'entretien, minimiser les fermetures de stations, prévenir la contamination ou la perte de produits et améliorer la sécurité et la fiabilité des ouvrages. La corrosion se définit comme la détérioration de tout matériau lorsqu'il réagit à son environnement, phénomène susceptible d'avoir une incidence importante financièrement et autrement sur les infrastructures linéaires. Bien que la corrosion des métaux soit la plus connue, d'autres matériaux comme le béton, le plastique et le bois peuvent aussi corroder. Les pertes économiques attribuables à la corrosion des métaux, la plus commune, ont été estimées être supérieures à 4 pour cent du PNB dans beaucoup de pays industrialisés, selon le National Bureau of Standards américain. Mais comme il peut y avoir corrosion d'autres matériaux, tels que le béton, le plastique et le bois, les pertes économiques dues à toutes les formes de corrosion sont encore plus grandes. Pour prévenir la corrosion, il faut sélectionner les matériaux de construction convenables, modifier la surface ou l'environnement de ces matériaux, ou encore employer des pratiques de calcul éprouvées. Les spécialistes en corrosion se servent d'études sur les sols, d'analyses économiques et de leurs connaissances sur les matériaux, les enduits et les chemisages pour recommander des méthodes préventives.

Grâce à certains progrès technologiques, les ingénieurs en matériaux peuvent contribuer ce qui suit à la conception des infrastructures :

- **Évaluation non destructive (END)**

Diverses techniques END sont utilisées pour évaluer l'état des matériaux en mesurant l'épaisseur ou en décelant les vices pour prévenir la défaillance des matériaux. Plusieurs d'entre elles proviennent de domaines apparentés (distribution de gaz, par exemple). Des technologies éprouvées à l'étranger pourraient aussi avoir un potentiel au Canada.

- **Technologie des plastiques**

Jusqu'à ce jour, la durabilité des plastiques n'a pas posé de problème. Toutefois, maintenant qu'une large partie du marché des polymères et des plastiques achète des produits jetables, des matériaux inférieurs risquent d'être utilisés dans des secteurs où la durabilité compte pour beaucoup. Il y aurait intérêt à examiner les techniques d'essai accélérées mises au point par les entreprises de communication pour l'isolation et les gaines de câbles. Il faudrait aussi considérer la perméance des sols contaminés par des solvants. Des accessoires (garnitures, par exemple) pourraient s'avérer un point faible et donc recevoir plus d'attention dans les calculs et les spécifications.

Des égouts et tuyaux d'eau défectueux ont déjà été réparés par la pose d'un chemisage polymère. Il n'existe toutefois pas encore de norme ou de spécification à cet égard.

Le **béton** est l'un des matériaux les plus largement utilisés en ingénierie. On estime⁸² que l'utilisation du béton de nos jours est d'environ une tonne/habitant/an, c'est-à-dire presque 5 milliards de tonnes dans le monde entier. L'industrie de la construction, qui comprend les bâtiments et les infrastructures, intervient pour 20 pour cent du PNB des pays industrialisés. L'une des principales raisons pour lesquelles le béton est si répandu est qu'il résiste très bien à l'eau. Il a donc été utilisé partout au monde dans des ouvrages de régulation, de stockage et d'adduction d'eau. Compte tenu de la croissance démographique et de la demande de services connexes, on peut s'attendre à ce que le béton demeure un matériau de construction important. En outre, la croissance dans le Tiers-Monde fera sans doute beaucoup appel à l'utilisation du béton, puisque les matières brutes qui le composent sont facilement disponibles, et le produit fini est facile à produire. Par contre, si l'on veut densifier nos aménagements, les projets où on utilise du béton vont probablement changer.

Il s'ensuit que le volume et le type d'utilisation du béton dans les infrastructures linéaires vont aussi subir des changements.

Les progrès importants réalisés dans l'analyse et la conception des ouvrages en béton armé ont permis d'en diversifier les utilisations. Le fruit des recherches nous a apporté des matériaux structuraux améliorés (plus solides, meilleure résistance à l'effort et meilleures propriétés de liaisonnement). Dans l'avenir, la qualité du béton sera améliorée essentiellement au niveau de sa durabilité en réduisant sa perméabilité, l'un des plus importants facteurs déterminants de la durabilité.

Les recherches ont prouvé que les adjuvants tels que les cendres volantes, le lait de haut fourneau, la fumée de silice et, dans les pays en développement, les balles de riz peuvent améliorer la qualité du béton. La résistance à court terme et la capacité des éléments d'infrastructures ont fait l'objet de beaucoup d'études au cours des 80 dernières années. La durabilité est maintenant la principale préoccupation car la considération des coûts globaux mène généralement à des décisions différentes.

4.3.3 Technologie

Tout au long de l'histoire, l'humain s'est servi de la technologie pour opérer des changements, pour mieux s'adapter à son environnement et pour améliorer les conditions de vie. En ce sens, la technologie représente les moyens nouveaux ou différents d'accomplir une tâche plus simplement, facilement, efficacement ou économiquement. Au XX^e siècle, la technologie évolue sans cesse plus rapidement. Les infrastructures linéaires ont et continueront de tirer profit des nouvelles technologies.

En ce qui concerne les réseaux d'approvisionnement en eau, **l'emmagasinage et la récupération dans les formations aquifères (ERFA)** est une innovation qui gagne en popularité et qui permet d'optimiser la taille et les coûts d'infrastructures. On se sert de formations aquifères souterraines pour emmagasiner l'eau traitée au lieu d'accroître l'approvisionnement en eau et les installations de traitement, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de construire de multiples grands réservoirs ou citernes en surface ou sous la terre. L'eau y est injectée durant les mois humides, où l'approvisionnement est abondant et la demande faible, puis elle est récupérée durant les mois secs, pour satisfaire la demande de pointe ou d'urgence. Après la récupération, le seul autre traitement nécessairement est normalement la désinfection. Les solutions ERFA coûtent normalement moins cher que les autres techniques si l'on veut augmenter l'approvisionnement en eau et retarder d'importants investissements de capitaux. Le coût des projets pilotes représente entre la moitié et un quinzième du coût d'autres techniques. Cette technique peut être appliquée dans les régions où il y a des variations saisonnières dans l'approvisionnement en eau, la demande d'eau ou les deux, à condition qu'il y ait une zone souterraine d'emmagasinage convenable. Son application pourrait être élargie aux collectivités confrontées à une demande croissante d'eau.^{83,84}

La membrane filtrante est vite passée du stade de la recherche au stade pratique du traitement de l'eau potable. Ce procédé est en développement depuis plusieurs années, mais il n'avait pas été implanté à grande échelle à cause de difficultés technologiques ou opérationnelles, ou encore parce qu'il coûtait trop cher comparativement à d'autres procédés de traitement. Il consiste à pomper de l'eau au travers de membranes qui séparent les contaminants de l'eau potable. Cette technologie est fondée sur l'osmose inverse, qui débarrasse l'eau des solides et des sels solubles, sur l'ultrafiltration qui enlève les molécules organiques, et sur la nanofiltration, qui élimine les particules. L'osmose inverse, le mieux connu de ces procédés, sert depuis des années au dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre. Dans certains cas, il a servi à améliorer de beaucoup la qualité de l'eau naturelle, normalement considérée imbuvable, au lieu d'aller chercher une source d'eau plus éloignée ou plus coûteuse.^{85,79}

Les **systèmes d'information géographique (SIG)** sont des systèmes informatisés qui offrent des données complètes sur les éléments des réseaux d'eau et d'égouts, selon leur répartition géographique. L'affichage et l'accès graphique de la base de données se font à l'écran. Un SIG peut aider les municipalités à remplir d'importantes fonctions primaires.⁸⁶

- *Exploitation et entretien des réseaux d'eau et d'égouts* : Un SIG peut aider à gérer les commandes, l'ordonnancement et les relevés de travail. Il peut aussi améliorer le transfert d'informations internes et externes de l'organisation sur la manière dont ces activités peuvent influencer sur le fonctionnement et la performance des réseaux. C'est l'outil idéal pour l'évaluation du fonctionnement du réseau en ce qui a trait aux travaux d'entretien.
- *Planification - Estimation des besoins d'après les utilisations de sol et planification des améliorations de réseau requises* : On peut relier un SIG à des logiciels de modélisation et d'analyse pour calculer les besoins actuels et futurs du réseau, et aussi pour visionner les résultats. Ce peut être un outil de présentation puissant lorsque l'on veut montrer les résultats et la raison d'être des améliorations envisagées à des administrateurs, à des représentants politiques et au grand public.
- *Ingénierie - La cartographie des installations est optimisée par la technologie SIG* : Avec un SIG, on peut gérer l'ensemble des données sur les réseaux, ainsi qu'obtenir le nombre et la gamme voulue de cartes et de feuilles.

C'est le genre de système de gestion d'infrastructures dont nous aurons besoin dans l'avenir. Ceux qui s'en serviront auront besoin de compétences en analyse de systèmes, en résolution de problèmes et en informatique avancée.

Les **techniques de construction sans tranchée** sont utilisées depuis des années en Europe et au Japon, et commencent rapidement à être adoptées en Amérique du Nord. Elles permettent la pose des conduites sans qu'il ne soit nécessaire de creuser de tranchées; elles nécessitent donc un minimum de surface d'excavation et causent peu de perturbations. Voici les avantages de ces techniques, telles que décrites dans un guide publié par le CNRC en 1989.⁸⁷

- Incorporer des techniques hautement automatisées, faisant appel de façon inhérente aux progrès en matière de sécurité et de productivité
- Minimiser la quantité d'excavation, pour ainsi réduire le fardeau des réseaux de transport et des décharges contrôlées écologiquement sensibles
- Réduire considérablement les perturbations de circulation causées par les travaux de construction
- Éliminer toute perturbation des services souterrains actuels

Certaines de ces techniques sans tranchée comprennent :

- nouveau chemisage des tuyaux existants par pulvérisation d'un produit comme de la résine ou du ciment, ou au moyen de chemises flexibles inverties posées sur place
- chemisage coulissant des tuyaux ou puits d'accès au moyen d'une chemise rigide permanente et préformée, c'est-à-dire des feuilles, panneaux, courtes sections de tuyaux ou tuyaux de polyéthylène (PE) ou de polychlorure de vinyle (PVC), que l'on déforme pour ensuite leur redonner leur forme après l'insertion
- remplacement des tuyaux éclatés, qui se sont dilatés et ont été rompus par une charge hydraulique, par un tuyau en polyéthylène selon l'alignement initial

- dégorgement d'égouts et levage des tuyaux aux vérins pour permettre la pose ou le remplacement d'un tuyau de gros diamètre en ligne droite et terrassement sur une distance limitée
- creusage d'un microtunnel pour permettre la pose de nouvelles conduites, en suivant une machine dirigeable à percer les tunnels inaccessibles à l'humain, entre des puits habituellement assez rapprochés
- forage directionnel permettant la pose de tuyaux et de services publics sous n'importe quel type de passage à niveau ou de nouvelles constructions où la surface et le nivellement n'ont pas besoin d'être exacts.

Dans le dernier exemple, on utilise une tête de forage dirigeable (hydraulique, pneumatique ou mécanique) pour percer un petit trou que l'on élargira plus tard à la taille voulue lorsqu'on y passera le tuyau.

Tout dépendant de l'application et des besoins du service public, ces techniques ont généralement été plus coûteuses pour le renouvellement des tuyaux que les techniques classiques de terrassement et de remblayage. La concurrence, le coût croissant des remblais et les recherches continues pour de nouvelles méthodes ont permis de réduire les coûts de ces techniques sans tranchée.

Certaines de ces techniques ont été utilisées de manière concurrentielle -- notamment, de gros segments des gazoducs de l'île de Vancouver ont été posés au moyen de techniques de forage directionnelles sous le lit de l'océan.

Si les coûts sociaux et environnementaux étaient ajoutés aux coûts de construction habituels, les techniques sans tranchée se révéleraient beaucoup plus concurrentielles et seraient utilisées sur une plus grande échelle, surtout dans les zones urbaines congestionnées ou sensibles. Un projet récent à la Barbade a prouvé que la construction d'un égout sous une route côtière par des techniques sans tranchée coûte 24 pour cent de plus (un million de dollars) que les méthodes de construction habituelles. Par contre, après avoir pris en considération le manque à gagner résultant de la perte d'une partie, si petite soit-elle des recettes touristiques annuelles de 150 millions de dollars de l'île, on a jugé qu'on s'en tirait à bon compte.⁸⁸

Le guide du CNRC signalait que, pour rendre les techniques sans tranchée plus compétitives et attrayantes, il faudrait tirer profit des énormes débouchés qu'offrent les domaines suivants :

- levés aux ultra-sons
- systèmes d'inspection
- machines robotisées fiables et robustes
- réseaux de microtunnels sur des surfaces mixtes (géologie)
- systèmes de guidage électronique pour foreuses
- matériaux de chemisage durables
- méthodes fiables pour la détection des intercommunications
- véritables méthodes sans creusage pour refaire le chemisage des intercommunications

Avec l'évolution rapide de ce domaine, il apparaît nécessaire de normaliser les spécifications et d'échanger entre municipalités. La Ville de Vancouver a récemment installé une section d'égouts au moyen de la méthode du chemisage coulissant. Parce que les raccords ont été coupés peu de temps après l'installation, ils se sont désalignés lorsque le matériau des tuyaux a travaillé. Le problème a été découvert seulement des mois après l'opération. De l'avis du personnel municipal, malgré le fait que plusieurs facteurs aient contribué au problème, des normes applicables à toute l'industrie seraient utiles pour prévenir ce genre de difficulté.

La diminution des **afflux et infiltrations** (A/I) est un moyen rentable de réduire les débits et les frais d'exploitation des stations de traitement des eaux usées, ainsi que pour accroître la capacité d'un réseau lorsque la population augmente. Les A/I dus aux précipitations peuvent être d'un apport important pour les réseaux d'égouts séparatifs, particulièrement s'ils sont usés et se détériorent. Ils peuvent aussi faire déborder les réseaux d'égouts, provoquer des refoulements dans les sous-sols et inonder les rues. Du point de vue de l'infrastructure, ils peuvent obliger à améliorer les tuyaux, les installations de pompage, les stations de traitement au-delà du niveau normalement nécessaire pour remédier au problème. Le district régional de la capitale (DRC) à Victoria (Colombie-Britannique) ne fait qu'un dégrillage des eaux usées avant de les rejeter dans l'exutoire de l'océan. Il a cependant décidé de se préparer à l'éventualité qu'un traitement primaire ou secondaire devienne nécessaire d'ici 10 à 20 ans. Les niveaux actuels d'A/E sont très élevés dans certaines parties plus anciennes du réseau d'égouts desservant la région métropolitaine de Victoria. Les plans d'origine prévoyaient déjà la taille et l'emplacement d'installations éventuelles, mais à la lumière des données préliminaires sur les débits, il a été recommandé que les débits de pointe soient réduits de beaucoup avant d'amorcer la conception. Autrement, il faudrait que l'installation de traitement prévue soit plus grande et plus coûteuse. Depuis lors, une autre étude a montré d'après le mesurage des débits que les niveaux d'A/E durant des orages réels étaient considérablement plus élevés que les chiffres précédents. De là l'importance encore plus grande de réduire les A/I dans le réseau. De même, le DRC a récemment amélioré certaines conduites principales et installations de pompage aux endroits où les A/I étaient élevés.

Ces installations ont dû être améliorées à cause de leur détérioration et de décharges inacceptables durant les gros orages. Comme la construction ne pouvait pas être retardée, ces installations ont dû être calculées pour recevoir des volumes élevés d'A/I. On ignore quelle valeur aurait pu être utilisée ou quelles économies auraient pu être réalisées si on avait eu assez de temps pour implanter un programme rentable de réduction des A/I.

L'examen et la réduction des A/I se déroule comme suit :

- contrôles des débits par temps sec durant les précipitations
- corrélation avec les précipitations
- détermination du pourcentage d'eau de pluie pénétrant l'égout séparatif
- investigation et identification des sources d'A/I par des contrôles, un examen du plan des réseaux d'égouts, des observations sur place, des essais à la fumée et à la teinture, et des excavations sélectives
- analyse des coûts associés à la réduction des A/I en regard des conditions courantes, y compris coûts plus élevés de pompage et de traitement
- détermination du niveau de réduction d'A/I le plus rentable
- mise en oeuvre du programme de réduction des A/I

L'analyse comparative porte normalement sur les frais d'immobilisations, de fonctionnement et d'entretien. On s'est efforcé récemment d'attribuer des valeurs à certaines externalités, telles que les retombées environnementales des évacuations, les dédommagements par suite d'inondations et la perte de la confiance du public.

Les programmes de réduction des A/I ont connu un succès mitigé, bien que plusieurs d'entre eux aient dépassé les 20 pour cent de réduction :

- Le programme d'évaluation et de suivi du réseau d'égouts séparatifs de la Ville de Tulsa (Oklahoma) a réduit de 30 à 50 pour cent les débits de pointe durant les orages.²²

- Le programme de réhabilitation d'égouts de la ville de Canmore (Alberta), dont plus de la moitié des travaux sont terminés, assurera une réduction d'A/I de 30 pour cent.²²
- Le programme de réhabilitation de Niagara-on-the-Lake (Ontario) est en cours.

Steketee (1981) résume les succès et les échecs de ces programmes aux États-Unis.²⁴ Plusieurs des exemples cités ont apporté des réductions d'A/I supérieures à 20 pour cent.

Les **réseaux d'égouts de substitution** permettent aux municipalités de réduire les coûts de construction d'égouts, en réduisant la taille des tuyaux ou le besoin d'excaver. Il s'agit notamment des égouts sous pression, des égouts à vide et des égouts gravitaires de petit diamètre.⁷⁵ On trouve plusieurs centaines de ces réseaux, qui peuvent coûter jusqu'à 50 pour cent de moins que les égouts ordinaires, un peu partout au Canada et aux États-Unis. Un égout sous pression utilise la pression positive créée par une petite pompe, au niveau de chaque raccordement, au lieu de la gravité, pour transporter les eaux usées à travers les conduites. Une autre option similaire consiste à utiliser des fosses septiques pour la décantation des matières solides, puis de pomper les eaux usées dans les conduites au moyen de pompes à effluents; les égouts à vide utilisent des pompes à vide placées dans un endroit central et des reniflards à vide placés à chaque endroit. Les eaux usées brutes s'accumulent à chaque reniflard jusqu'à ce qu'un certain volume soit atteint, puis il s'ouvre et les boues se rendent jusqu'au prochain, et ainsi de suite. Les égouts gravitaires de petit diamètre sont similaires aux égouts sous pression, sauf que les eaux usées s'écoulent par gradients variables ou critiques, alternant de haut en bas, au lieu de pompage mécanique.

Les **méthodes naturelles de traitement d'eaux usées** sont une solution de rechange aux installations de traitement coûteuses. Les méthodes naturelles mettent à profit la capacité d'assimilation naturelle du milieu et nécessitent normalement moins de personnel spécialisé, consomment moins d'énergie et produisent moins de boues. Elles produisent un effluent de très bonne qualité et peuvent coûter beaucoup moins cher que les traitements classiques. Voici quelques exemples de méthodes d'applications terrestres : drainage souterrain (fosses septiques ou systèmes en grappes), applications terrestres à vitesse ralentie (irrigation de la végétation en surface). Drainage rapide (inondation de bassins peu profonds) et ruissellement superficiel (irrigation en nappe). Des exemples aquatiques sont les étangs (artificiels) de stabilisation, les systèmes à végétation flottante et les terres humides naturelles ou artificielles.⁷⁵ De toutes ces méthodes, c'est celle des terres humides qui a été sélectionnée par les grandes collectivités confrontées à une réglementation d'évacuation plus rigoureuse ou à une demande accrue de traitement. Les terres humides ont été utilisées pour perfectionner ou améliorer le niveau de traitement des effluents provenant de stations de traitement secondaires pour rehausser l'écosystème des estuaires par l'absorption ou la réduction des charges organiques (du ruissellement agricole par exemple) et pour filtrer naturellement les polluants tels que les métaux lourds.

Les **filtres à sable** sont similaires aux systèmes naturels parce que les matériaux et procédés utilisés pour le traitement sont naturels. Ils sont constitués par des lits de sable de calibre moyen à grossier par-dessus lesquels on déverse les eaux usées une fois qu'elles sont décantées. Le traitement biologique se produit pendant la percolation des eaux usées au travers du lit de sable. Ces filtres requièrent peu d'énergie ou d'attention de la part de l'opérateur, ne font jamais défaut et sont capables d'assurer des niveaux élevés de traitement à coût raisonnable au chapitre de la construction et du fonctionnement. Leur performance est éprouvée de longue date, dans des centaines de petites collectivités américaines qui utilisent maintenant cette technologie.⁷⁵

4.3.4 Contrôles et régulation

La valeur immobilière des installations et leur contribution au niveau de vie auquel nous nous attendons exigent que toutes les méthodes et machines disponibles soient utilisées pour la conception, le fonctionnement et l'entretien.

De la même façon que la conception assistée par ordinateur et les systèmes de gestion peuvent nous aider à concevoir et à renouveler nos réseaux de conduite de manière optimale, des **modèles informatiques** ont été mis au point pour optimiser la conception et le fonctionnement des stations de traitement d'eau et d'eaux usées. Un grand nombre de municipalités ont effectué des vérifications qui les ont amenées à apporter des modifications opérationnelles ou de légères améliorations aux stations, et ont pu ainsi faire d'énormes économies par rapport aux autres options, c'est-à-dire de gros travaux de rénovations, d'amélioration ou de remplacement.

- La vérification directe des instruments par ordinateur est une nouvelle approche au fonctionnement efficace des installations de traitement d'eaux usées déjà en place. On vérifie les données sur le fonctionnement et le calcul des procédés, ce qu'on ne pouvait faire facilement avec les anciennes méthodes d'évaluation. Lorsqu'on les combine à d'autres informations, les résultats de la vérification permettent de déterminer si une station peut recevoir des charges accrues, tout en retardant l'expansion. Au nombre des autres avantages, on peut obtenir une évaluation précise des aspects hydrauliques, connaître la capacité maximum de transfert d'oxygène de la station et déterminer la faisabilité d'élaborer des stratégies de régulation automatique concernant l'aération et les débits, en vue d'économiser et d'augmenter la performance des procédés. Assortie d'une analyse de la conception de la station et de données historiques de fonctionnement, la vérification est un instrument puissant capable de produire de l'information précise sur les améliorations opérationnelles, les économies d'énergie et, au besoin, les critères d'amélioration ou d'expansion de la station. La vérification de la station de traitement d'eaux usées est donc un outil de travail puissant et pratique si l'on

utilise des instruments modernes, du matériel informatique et des logiciels pour identifier les goulots d'étranglement au niveau des opérations et de la conception, ainsi que la possibilité d'économies dans les stations existantes. Le processus de vérification a prouvé qu'il est possible de réaliser des économies appréciables au niveau des immobilisations et du fonctionnement, par une étude détaillée du réseau existant avant d'envisager l'amélioration ou l'expansion d'une station. Cette approche est particulièrement intéressante pour les stations qui éprouvent des difficultés opérationnelles et celles qui pourraient avoir besoin d'être élargies pour recevoir des charges accrues. Dans bon nombre de cas, il pourrait être suffisant d'apporter seulement quelques légères modifications pour faire en sorte que le degré de traitement atteigne les objectifs relatifs à l'évacuation des effluents. Au fur et à mesure du vieillissement des infrastructures urbaines et industrielles de traitement des eaux usées, il faut investir des sommes importantes; une vérification pourrait réduire ces dépenses au minimum et aider à sélectionner et à élaborer les meilleures solutions pour l'amélioration/l'expansion.⁶²

- Gilles Patry a inventé une approche favorisant le fonctionnement efficace des installations de traitement nouvelles et existantes, qui s'appelle le General Purpose Simulator (GPS).⁶³ La station de traitement de Gold Bar, à Edmonton, utilise cet instrument de simulation de procédé à titre expérimental à l'heure actuelle pour fins d'évaluation et d'optimisation. Il est prévu que, une fois le simulateur implanté dans la station, les installations fonctionneront plus efficacement, que les procédés ne seront pas perturbés et on respectera les normes de qualité relatives à l'évacuation des effluents.

La **technologie sélective*** est une nouvelle méthode utilisée pour la rénovation et le fonctionnement des installations de traitement secondaire, qui les aidera à traiter les eaux usées de manière plus efficace et efficiente. Plusieurs conversions ont été exécutées dans des stations de l'Oregon dont la cote d'efficacité avait baissé de jusqu'à 20 pour cent à cause de problèmes de colmatage et de clarification. Ces travaux ont montré que l'application de la technologie sélective peut accroître la performance d'une station et qu'elle peut reprendre sa capacité de calcul initial; par l'augmentation de la capacité opérationnelle effective des usines, on peut reporter l'échéancier d'amélioration ou de remplacement.

De la même façon que la conception assistée par ordinateur permet d'optimiser les calculs d'infrastructures, un système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) assure le fonctionnement et la régulation optimums des infrastructures d'eau et d'égouts. Un SCADA est un système informatisé qui capte les données d'emplacements et d'installations publiques éloignées, puis transmet les messages à un ordinateur central, à partir duquel on peut renvoyer les commandes. Avec un SCADA, un service public peut contrôler les conditions à des endroits critiques de manière continue et donner des commandes à distance. Ce genre de système peut servir à commander les pompes, les soupapes et les vannes dans les réseaux de distribution d'eau et de collecte d'eaux usées, c'est-à-dire augmenter (ou restreindre) l'apport d'eau dans le réseau ou prévenir les trop-plein dans le réseau d'égouts. Certains l'ont utilisé pour réduire les coûts en limitant les heures de pompage ou de retrait d'eau. Antérieurement, il arrivait souvent que les services

* « La technologie sélective consiste à créer un débit linéaire prévisible d'eaux usées à travers les bassins de traitement secondaire d'une station, dans le but d'y sillonner des zones, puis à créer des environnements à l'intérieur de ces zones - anaérobie (sans oxygène), anoxique (faible en oxygène) ou aérobie (riche en oxygène) - qui favorisent la croissance de certains microorganismes naturels. Chacun de ces trois environnements contribue à sa façon à l'amélioration de l'aspect le plus critique du traitement moderne des eaux usées : engendrer une boue biologiquement active qui se décante rapidement dans un bassin de clarification, produisant une eau claire qui, après une brève désinfection au chlore, est assez pure pour être déversée directement dans un lac ou un ruisseau. »⁶⁴

publics apportent des modifications uniquement lorsque des inspecteurs ou la clientèle signalaient un problème.

L'**architecture informatique** courante revêt une plus grande importance maintenant qu'on se sert un peu partout d'ordinateurs pour faire des analyses, exécuter la cartographie, gérer les données, ainsi qu'assurer l'exploitation et la régulation des réseaux d'eau. Or, un grand nombre de services affirment avoir un problème d'incompatibilité de systèmes, de sorte qu'ils ne peuvent pas échanger d'informations entre réseaux.⁸⁹ Il en a résulté un double emploi au niveau de l'entrée, du traitement et du transfert de données. Pour prévenir ce genre de situation dans l'avenir, on travaille actuellement à une architecture ouverte pour les ordinateurs et à l'établissement de normes communes pour les contrôles électroniques et le matériel de commande. Le système ouvert prévu représente une modification de l'architecture de communication des services publics d'électricité. Ainsi, on pourra échanger des bases de données à l'intérieur d'une organisation ou entre différentes organisations, et il y aura compatibilité entre les différents fournisseurs de matériel et les améliorations éventuelles des systèmes de commande.

4.3.5. Économie de l'eau

Un programme d'économie de l'eau vise à réduire la quantité d'eau utilisée par tous les consommateurs, y compris les industries, en éliminant le gaspillage. De cette façon, on peut réduire à court terme les coûts d'exploitation et d'entretien des réseaux de traitement et de distribution d'eau, ainsi que des réseaux de collecte et de traitement des eaux usées. À long terme, il peut diminuer ou retarder le besoin d'expansion, d'amélioration et de remplacement des réseaux, et de ce fait « libérer » une certaine capacité à l'intérieur des réseaux d'infrastructures existants pour l'avenir.

Les installations d'approvisionnement en eau et de traitement municipal, dont le réservoir et les stations de pompage, sont normalement dimensionnées en fonction de la demande maximum de jour, ce qui représente fréquemment 50 pour cent de plus que la demande moyenne journalière. Le dimensionnement est ordinairement basé sur deux facteurs : la demande horaire de pointe (souvent de 2 à 3 fois la demande moyenne journalière) et la demande journalière maximum plus le débit nécessaire à la lutte contre les incendies. Les réseaux d'égouts ont une capacité supplémentaire parce que les conduites sont conçues pour être à moitié ou aux deux tiers remplies par rapport à la dimension nominale. Compte tenu de ce critère, l'économie de l'eau devrait nous aider à conserver les réseaux actuels pour bien des années encore.

Des sécheresses au Canada et aux États-Unis ont mis en lumière le gaspillage qui se fait en Amérique du Nord. Des stratégies de conservation ont été élaborées au cours des dix dernières années pour favoriser une utilisation plus efficace de l'eau afin de reporter les importantes dépenses en immobilisations pour l'expansion des installations d'approvisionnement en eau et de traitement. Elles comportent notamment des restrictions sur l'arrosage pour prévenir les pénuries d'eau temporaires durant les mois secs de l'été, la réparation des fuites dans les tuyaux de distribution, des vérifications de réseau pour repérer les pertes d'eau inexplicables, des programmes de rattrapage par l'installation d'appareils de plomberie à faible débit, des programmes universels de compteurs et de tarification, ainsi que des programmes de sensibilisation publique. Ces recherches ont été portées à l'attention des municipalités canadiennes confrontées à une croissance démographique et des compressions budgétaires.

Malgré l'abondance des cours d'eau du Canada, la conservation est devenue un enjeu politique important. Tous les niveaux de gouvernement se sont rendus à l'évidence, même si la durabilité des ressources n'est pas en jeu, mais on commence à douter de la mesure dans laquelle les gouvernements provinciaux et municipaux pourront continuer de maintenir l'infrastructure.

L'économie de l'eau est rarement une préoccupation, à moins que l'infrastructure ne soit mise à l'épreuve durant une période de demande maximum. Lorsque cela se produit, il s'agit fréquemment d'un problème au niveau du réseau de distribution (capacité des tuyaux, emmagasinage dans le réservoir) et d'approvisionnement à la source. On considère que la conservation est un mécanisme propre à reporter les investissements dans des installations supplémentaires ou élargies pour satisfaire à une demande croissante.

La conjoncture économique intervient pour beaucoup dans la conservation de l'eau. Le résultat à long terme d'un plan de conservation est de prolonger l'approvisionnement en eau et de reporter ou de réduire les projets d'amélioration. Il est important d'intégrer l'économie de l'eau dans le processus de planification au même titre que le développement de nouvelles sources, l'expansion des installations de traitement d'eaux usées et le développement de réseaux d'approvisionnement.

Les pratiques de conservation réduisent le gaspillage et font en sorte que la consommation corresponde davantage aux besoins réels.

Toute mesure qui réduit la demande d'eau potable et la production d'eaux usées apporte des avantages très concrets pour les organismes provinciaux et municipaux chargés d'assurer ces services. Des études réalisées aux États-Unis ont montré qu'une réduction de 10 pour cent au niveau des eaux usées peut prolonger appréciablement la durée de vie et l'efficacité opérationnelle des installations existantes, tout en retardant des expansions d'infrastructures coûteuses.^{53a}

4.3.5.1 Gestion de la demande

Alors que les municipalités avaient autrefois tendance à compter sur des augmentations d'approvisionnement pour satisfaire la demande croissante de services d'eau et d'égouts, on se rend compte de plus en plus que la *gestion de la demande* peut accroître la productivité des infrastructures municipales d'eau et d'égouts, sans compromettre le niveau de service à toutes les catégories de clientèle.

Au Canada, il y a actuellement deux facteurs qui motivent l'économie de l'eau, l'un pratique, l'autre plus ésotérique.

Dans un premier temps, il y a certaines villes où on manque véritablement d'eau et où les citoyens ne peuvent arroser le gazon que les jours pairs ou impairs en été. Winnipeg, Regina et certaines parties de Vancouver tombent dans cette catégorie. La population est donc sensibilisée à la valeur de l'eau lorsqu'on débat du coût d'expansion des réseaux. La gestion de la demande devient une solution de rechange aux augmentations de taxes qu'il faudrait imposer pour financer l'expansion.

Dans un deuxième temps, il y a les écologistes qui prônent le développement durable et estiment que le gaspillage d'eau, d'énergie et de toute richesse naturelle met en péril la survie à long terme de la Terre. Les éléments politiques vont alors demander aux responsables des travaux publics et des services d'ingénierie « pourquoi est-ce que nous traitons, pompons et livrons toute cette eau dont nous n'avons pas vraiment besoin ? ». Ceci fait contraste avec les contribuables qui se plaignent de payer leur eau si chère et qui veulent arroser leur gazon tous les jours.

En période d'austérité, la gestion de la demande devient la solution de prédilection essentiellement parce que la disponibilité des fonds limite les possibilités d'augmenter l'approvisionnement.

L'exemple parfait se trouve dans l'industrie de l'électricité. En Colombie-Britannique, BC Hydro a connu beaucoup de succès avec son programme d'économie appelé POWERSMART. Ce programme a pour objet de reporter des extensions coûteuses à la capacité actuelle. Les installations hydro-électriques, principale source d'énergie en Colombie-Britannique, sont planifiées, approuvées et construites pendant des années. Ce sont aussi des infrastructures qui exigent d'énormes investissements, et le choc que ressentent les abonnés lorsqu'une grande centrale hydro-électrique est mise en service serait mal accepté en période de récession. Voici les ingrédients du succès de ce programme que BC Hydro a vendu à d'autres services canadiens et étrangers :

- un programme de rachat de vieux réfrigérateurs inefficaces, qui encourage les propriétaires à acheter des modèles plus efficaces
- un programme axé sur l'efficacité de l'éclairage dans les bureaux, les établissements et les habitations
- des vérifications industrielles, dans le cadre desquelles des spécialistes en économie d'énergie conseillent les abonnés sur la manière d'économiser par le remplacement de moteurs inefficaces, etc.
- une campagne d'information publique dans tous les médias.

La gestion de la demande joue-t-elle un rôle dans la planification des infrastructures ? Malgré l'abondance de ces ressources, le Canada ne les met pas en valeur sagement et le coût de l'eau potable dans nos villes va sans doute augmenter appréciablement. Étant donné que les volumes d'eaux usées sont étroitement liés à la consommation d'eau, un usage abusif dans une infrastructure (installations de traitement et réseau de distribution) se répercute sur l'autre (réseau d'égouts et installations de traitement). Des données officielles confirment que les Canadiens consomment beaucoup plus d'eau par habitant que les Européens, à savoir 360 litres par jour par opposition à 150 (France et Allemagne) et 200 (Suède et Grande-Bretagne). De plus, la consommation est à la hausse, surtout en

raison de l'usage d'appareils électroménagers. Il va sans dire que la gestion de la demande doit faire partie de la planification des infrastructures, conclusion tirée par de plus en plus de collectivités.

La tarification remplira une fonction croissante dans la gestion de la demande. Historiquement, le Canada a été parmi les pays où l'eau coûte le moins cher, raison pour laquelle cette ressource n'est pas appréciée à sa juste valeur et a été utilisée de manière abusive. Tous sont généralement d'accord pour dire qu'une tarification réaliste basée sur une comptabilisation des coûts globaux réduira la consommation d'eau et les pressions sur les installations de traitement.^{51a}

Nous savons très bien que le consommateur ne paie pas le plein coût des équipements d'approvisionnement en eau. Les subventions fédérales et provinciales protègent le propriétaire foncier du financement à part entière des coûts d'immobilisations à même les taxes municipales. Si le contribuable avait à payer le coût réel, sa consommation d'eau personnelle chuterait. L'élasticité des prix est une mesure de la réaction de la demande aux changements de prix. Une élasticité de tarifs municipaux de -0,45 par exemple signifie qu'une augmentation de 1 pour cent dans le prix de l'eau réduirait la demande de 0,45 pour cent. Le tableau 4-1 illustre la gamme d'élasticité des prix pour plusieurs régions des États-Unis. Aucune données comparables n'ont encore été totalisées pour le Canada.

Tableau 4-1	
Élasticités résidentielles régionales (États-Unis)	
Région	Élasticité type des prix résidentiels
Midwest	-0,27
Californie du Nord et Pacifique du Nord-Ouest	-0,27
Nouvelle-Angleterre et Atlantique Nord	-0,37
Sud-est	-0,44
Sud-ouest	-0,45
Plaines et Rocheuses	-0,67

En résumé, la gestion de la demande d'approvisionnement en eau est un nouveau concept au Canada. Les ingénieurs, les administrateurs municipaux et le public s'ouvriront de plus en plus à cette idée.

4.3.5.2 Réutilisation des eaux usées

On définit normalement la conservation comme un moyen d'économiser l'eau, soit par une utilisation plus efficace ou une réduction de la consommation. La réutilisation des eaux usées (pour l'arrosage des terrains de golf, par exemple) n'est normalement pas considérée comme une mesure de conservation. Pourtant, elle peut aussi remplir le même objectif. La **réutilisation de l'eau** fait appel à des techniques de traitement perfectionnées des eaux usées pour récupérer et utiliser l'eau à des fins non potables ou potables, dans certains cas. L'eau peut être réutilisée au moyen de systèmes mis au point pour l'irrigation des aménagements paysagers et des terres agricoles, le recyclage industriel, l'amendement des terres humides, la recharge et la récupération des eaux souterraines, de même que la réutilisation directe et indirecte de l'eau potable.⁹⁰

On a déjà employé des eaux usées traitées pour l'irrigation de terres dans certaines collectivités où la capacité d'assimilation des lacs ou ruisseaux n'est pas suffisante pour recevoir la totalité ou une partie des débits de stations de traitement. L'effluent traité est aussi maintenant perçu de plus en plus comme un produit à valeur ajoutée; l'utilisation la plus courante (et la moins coûteuse) se fait dans le traitement secondaire pour des fins non potables. Les eaux usées récupérées utilisées pour l'arrosage des parcs, des terrains scolaires, des terrains de golf et d'autres installations récréatives et gazonnées permettent non seulement de fournir une quantité suffisante d'eau de bonne qualité et d'entretenir ces équipements sans risque pour la santé, mais une quantité équivalente d'eau potable pour consommation humaine. Ces deux facteurs concourent à permettre aux municipalités de reporter ou d'annuler des travaux d'équipement et soutenir un plus grand nombre d'habitants avec les sources d'approvisionnement et les installations de traitement existantes.

La **réutilisation de l'eau potable** est la méthode de recyclage ultime, car elle représente le cycle naturel de l'eau, car on traite l'eau usée pour qu'elle redevienne de l'eau potable. L'effluent d'une station de traitement perfectionné d'eaux usées ou d'une installation de récupération d'eau est déversé dans un ruisseau, un lac ou une formation aquifère afin qu'il se mélange avec une autre source d'eau brute. L'eau en est ensuite retirée et traitée, au besoin, avant d'être acheminée vers le réseau de distribution. L'eau potable réutilisée doit subir un traitement qui la rend apte à la consommation humaine. Un projet de démonstration a été lancé à Denver en 1985 pour définir un procédé de traitement optimum et la qualité à viser. On a retenu le procédé de désinfection à l'ozone, l'irradiation aux rayons ultra-violet, l'adsorption au charbon actif pour supprimer les composés organiques, et enfin la filtration à osmose inverse pour toute une gamme de contaminants. Malgré le caractère récent de ce procédé, on a vu qu'il peut produire une eau qui respecte toutes les normes et se compare bien avec l'eau potable de haute qualité provenant des bassins versants protégés et des stations de traitement actuelles de Denver.⁹¹

Ces projets montrent que l'on peut recycler les eaux usées en eau potable, mais la **Light Grey Option** s'appuie sur les possibilités de réutilisation ou de recyclage de l'eau sur une base plus limitée et simple.⁹² Cette méthode s'appuie sur le fait qu'un système pourrait être installé pour maximiser l'utilisation d'eau dans chacune de nos habitations, et que seule l'eau que nous buvons et utilisons pour faire la cuisine (environ 5 pour cent) a véritablement besoin d'être potable, et que nous devrions recycler une quantité importante d'eau domestique tout au long des étapes au cours desquelles elle est salie. Par exemple, l'eau du bain, appelée l'eau grise pâle, est encore assez propre pour servir à d'autres fins. On propose de faire cascader les utilisations d'eau, c'est-à-dire que l'eau utilisée pour la toilette personnelle et le rinçage du linge et de la vaisselle pourrait être encore convenable pour laver les vêtements et la vaisselle, chasser l'eau de la toilette et arroser les plates-bandes. Il reste encore quelques problèmes pratiques à surmonter, par exemple empêcher les gens ou les animaux d'essayer de boire l'eau d'arrosage et limiter les raccords de plomberie pour éviter que l'eau recyclée ne passe dans un appareil auquel elle ne convient pas. Par surcroît, l'option de l'eau grise offrirait sans doute une réduction de 16 pour cent de l'utilisation d'eau intérieure, compte non tenu des avantages pour l'arrosage extérieur;

si l'on y ajoute des pommes de douche à faible débit, des toilettes à faible débit, un lave-vaisselle et une laveuse plus efficaces, la consommation d'eau d'une habitation baisserait d'environ 66 pour cent. À l'instar de toutes les mesures de conservation ou de réduction d'eau, ceci représente une économie ou le report de travaux d'équipements lorsqu'il y a une croissance démographique. Ainsi, la responsabilité pour l'entretien passerait de la municipalité au propriétaire.

5.0 APPLICATION DES RECHERCHES

Il existe autant de possibilités d'appliquer l'innovation et la technologie moderne dans le domaine des infrastructures linéaires que de problèmes. Il en existe dans les domaines de l'ingénierie, de l'urbanisme, du financement et de la politique.

Dans le domaine de l'ingénierie, les applications ont trait aux méthodes de calcul, à l'utilisation des techniques perfectionnées, au matériel et aux techniques de construction, de même qu'à l'innovation au niveau du fonctionnement et de l'entretien (conception et fonctionnement optimisés par ordinateur). En urbanisme, les applications sont liées à la structure communautaire, à la densification des villes à la prestation des installations (appartements accessoires). Dans le domaine financier, elles portent sur l'affectation des ressources, la prise en considération des coûts réels d'infrastructures et l'incitation à adopter de nouvelles méthodes et technologies (financement des améliorations apportées au traitement des eaux usées par la US Environmental Protection Agency). Au niveau politique, il existe des possibilités au niveau de la coopération intergouvernementale, des codes, arrêtés et règlements municipaux, de même que de l'acceptation publique (compression de la bureaucratie, nouveaux modèles organisationnels, nouvelle façon de réagir aux besoins, initiative CCME).

On reconnaît de plus en plus que les meilleures solutions aux problèmes actuels de nos infrastructures vont sans doute traverser ces frontières et être combinées. Prenons l'exemple de la légalisation des appartements au sous-sol. Le gouvernement de l'Ontario a introduit un projet de loi en 1993 pour légaliser les appartements de sous-sols dans toutes les villes de la province. C'est aussi ce qui a été recommandé par une commission d'étude sur les options de logement en Colombie-Britannique. Les appartements secondaires sont considérés comme le moyen idéal d'accroître la densité sans changer l'aspect d'un quartier. De plus, ils ne nécessitent aucune augmentation des infrastructures linéaires. Il faudra, bien sûr, la coopération politique des municipalités, ainsi que faire approuver les initiatives **d'urbanisme** pour l'ensemble des quartiers et collectivités. Les arrêtés municipaux et la réglementation doivent aussi être modifiés.

Le dossier des appartements secondaires a été mis de l'avant en 1992 dans le cadre d'une série de propositions présentée par une nouvelle commission provinciale d'urbanisme, une entité **politique** à qui on avait confié le but social de simplifier les hiérarchies intergouvernementales et d'éliminer la confusion, la complexité et les retards associés aux niveaux multiples de gouvernement et aux procédures d'appel fastidieuses. Ces propositions visaient à changer la manière dont les collectivités se sont développées par le passé. On le faisait pour des raisons simples et de nature **financière** : les habitations individuelles construites sur des terrains spacieux sont très exigeantes pour les infrastructures, et la Province n'avait plus d'argent pour subventionner les installations requises par une population croissante. Certaines des propositions comportaient des considérations **techniques** et encourageaient les aménagements qui s'étaient densifiés ou qui utiliseraient les réseaux de transport et d'infrastructures actuel, tout en décourageant la construction en dehors des terrains viabilisés. Notamment, les nouveaux ensembles domiciliaires ne pourraient plus utiliser de fosse septique pour l'évacuation des eaux usées. En outre, la construction d'égouts dans les lotissements comportant des fosses septiques fuyantes ou de prestation d'un service de transport en commun dans les banlieues à faible densité ne serait plus subventionnée à partir des taxes générales, ou tout autre mécanisme qui amortit les coûts d'une expansion d'infrastructures.

5.1 Obstacles à l'application des recherches

Au chapitre de l'application des recherches dans le domaine des infrastructures linéaires municipales, il faut d'abord prendre conscience des divers obstacles ou des contraintes qui existent.

5.1.1 Prudence des usagers

L'un des principaux obstacles qui s'opposent à l'adoption rapide des innovations est la prudence des usagers. Il peut s'agir des municipalités, des concepteurs, des entrepreneurs ou même des fabricants.

Lorsque vient le moment d'appliquer le fruit de recherches et d'implanter une innovation, l'usager veut rarement être pionnier. C'est un peu parce que les faiblesses inhérentes d'un matériau ou d'un produit ne se manifestent pas toujours tout de suite. Notamment, la corrosion de certains composants importants peut ne se manifester qu'après dix ans ou plus. C'est pourquoi les usagers, surtout les municipalités, hésitent à servir de cobayes, parce qu'on pense que si un risque peut être évité, il devrait l'être.

Mentionnons, par exemple, l'usage répandu des tuyaux d'amiante-ciment pour la fabrication des conduites d'eau maîtresses dans la région métropolitaine de Vancouver au cours des années 1960. À l'époque, ce matériau coûtait de 10 à 20 pour cent moins cher (main-d'oeuvre et matériaux). Par contre, à cause de l'eau naturellement corrosive de Vancouver et d'une installation probablement fautive, certaines municipalités se sont retrouvées avec des tuyaux qui fuient ou qui se sont rompus après 25 ou 30 ans. Les coûts de remplacement des tuyaux de nos jours sont beaucoup plus élevés que l'économie réalisée il y a 30 ans.

La prudence est donc de mise à différents degrés chez les particuliers comme dans les entreprises partout au monde. Nous l'avons mentionné plus tôt, les entreprises canadiennes qui veulent connaître le succès dans le développement et la commercialisation de produits à l'étranger doivent d'abord acquérir de l'expérience ici. Les risques devraient donc être partagés pour le bien de tous.

Un autre niveau de résistance s'installe lorsque des produits ou méthodes essuient un échec. La Ville de Vancouver avait fait exécuter un projet de réhabilitation d'égouts par un entrepreneur qui a utilisé une technique sans tranchée (chemisage coulissant). Pour toutes sortes de raisons, des problèmes ont surgi dans les raccordements d'égouts sur le tronçon en question à peine quelques mois après l'installation. Bien que la Ville ait corrigé le problème et appuie toujours les techniques sans tranchée, son expérience la rendra plus prudente pour les projets futurs.

5.1.2 Codes et mesures législatives

Les codes et les lois sont normalement basés sur l'expérience, les approches qui ont donné de bons résultats, ainsi que sur les problèmes et les défaillances qui se sont produits. Ces documents évoluent donc dans le temps, mais en fonction de changements et de tendances plutôt que de mesures incitatives. De plus, les modifications sont apportées après une étude minutieuse des changements même les plus minimes par divers comités.

Par le passé, lorsque la technologie et les marchés internationaux évoluaient lentement, c'était une approche acceptable susceptible de protéger contre d'éventuels problèmes. À l'heure actuelle, compte tenu de l'évolution rapide de la technologie et de la concurrence mondiale, on ne pourra plus se permettre de compter sur des normes désuètes ou inadéquates encore très longtemps. Si rien ne change, ce sera un obstacle majeur à l'innovation, si bien qu'il faudrait développer des produits et méthodes ailleurs, peu de risques seraient pris au Canada mais nos produits n'auraient pas de valeur ajoutée.

5.1.3 Économie

Bien souvent, lorsque de nouveaux produits ou méthodes sont introduits sur le marché, ils ne sont pas beaucoup plus économiques comparativement à ce qui existe déjà. Pourtant, pour que les nouvelles approches soient meilleures, plus efficaces, plus rentables et plus compétitives, elles doivent être appliquées dans des situations et des conditions réelles.

La plupart du temps, lorsque les comparaisons de coûts sont établies entre des matériaux ou techniques inusités, on n'examine que les coûts en capital, à la façon d'un comptable, sans tenir compte des coûts à long terme de fonctionnement et d'entretien. C'est compréhensible à la lumière du grand nombre de municipalités qui sont aux prises avec des budgets limités pour leurs programmes de renouvellement d'infrastructures et qui ne peuvent réagir qu'aux problèmes les plus pressants.

Les comparaisons de coûts ne tiennent pas compte des principes de l'énergie intrinsèque et de la tarification au cycle de vie qui commencent à se répandre dans les domaines du logement et de l'énergie. Elles ne tiennent pas compte non plus du coût des externalités comme les coûts sociaux et environnementaux. Les municipalités devraient être encouragées à considérer des facteurs économiques et des coûts au-delà du prix des soumissions.

5.1.4 Aspects juridiques

La construction, l'entretien et le renouvellement des infrastructures municipales d'eau et d'égouts au Canada, en fait tous les travaux à contrat en Amérique du Nord, se font dans des conditions très litigieuses. Il y a normalement trois parties contractantes dans le domaine des infrastructures :

- le propriétaire, la municipalité dans la plupart des cas
- le concepteur, souvent un ingénieur conseil
- l'entrepreneur

Les avocats et assureurs de chaque partie ne tardent pas à encourager leurs clients à se désister de tout risque et responsabilité. Cette mentalité est apparentée au syndrome que l'on connaît bien et qui se résume à : « n'importe où, mais pas de ça chez nous », c'est-à-dire que s'il y a un risque associé à un projet, que quelqu'un d'autre l'assume. Le risque accru représenté par le grand public est aussi à éviter.

C'est ce qui tend à rendre la conception et la construction litigieuses et contradictoires. Voilà pourquoi les méthodes et les matériaux inusités ont peu de chance d'être utilisés dans la majorité des projets d'infrastructures.

5.1.5 Entrepreneuriat

Les Canadiens ont la réputation d'être conservateurs, solides et peu enclins à l'entreprise. Tout comme il faut accepter de prendre des risques sur le chantier de construction pour que l'innovation soit possible, il faut l'initiative de personnes prêtes à prendre un risque, les entrepreneurs, pour que des idées nouvelles se développent.

De nombreuses applications de recherche ont été conçues par des Canadiens, mais elles ont été développées ailleurs à cause du manque de commanditaires. C'est ce que faisait remarquer récemment un article de journal.⁹⁵ Un professeur de médecine de l'Université McGill, à Montréal, plaignait devant une assemblée de chefs de file d'entreprises le sort des meilleurs scientifiques du pays dont les produits ne semblent pas susciter l'intérêt du secteur privé, qui pourrait les mettre sur le marché. Les industries et les entreprises ne se sont pas mis en rapport avec le monde universitaire scientifique pour savoir si de nouvelles recherches offriraient des débouchés commerciaux; c'est la communauté scientifique qui en a pris l'initiative, mais souvent en vain. Le professeur dirige un groupe de chercheurs médicaux qui a inventé une nouvelle génération de ventilateurs respiratoires mécaniques. Après avoir été rejeté par une entreprise canadienne, le produit est maintenant en voie de développement et de fabrication par deux entreprises américaines.

Si les entreprises canadiennes veulent connaître le succès sur le marché international, elles devront adopter une nouvelle attitude. Comme beaucoup d'entre elles n'ont pas de structure de recherche et de développement adéquate, il leur faudra établir des partenariats plus solides avec la communauté universitaire et leur clientèle (municipalités).

5.2 Rôle du gouvernement

Le gouvernement fédéral n'est pas sans ressources en ce qui concerne la qualité et la quantité de l'eau aux niveaux provincial, local ou même individuel. Ces questions ont une pertinence directe pour les programmes d'infrastructures municipaux. Lorsqu'il a publié sa politique sur l'eau⁴⁶, le gouvernement fédéral a reconnu le besoin de jouer un rôle proactif dans la protection de cette richesse naturelle.

Cette politique a deux buts :

- protéger et rehausser la qualité de l'eau;
- promouvoir la gestion et l'utilisation efficace de l'eau.

Pour y arriver, la politique fédérale sur l'eau énonce cinq stratégies applicables aux infrastructures d'eau et d'égouts :

1. Tarification : engagement au principe d'une juste valeur pour l'eau, c'est-à-dire faire payer à l'utilisateur un prix réaliste (comme le précise le Plan vert du gouvernement fédéral) et une prise de conscience du besoin d'adopter une comptabilisation globale des coûts pour les services d'eau et d'égouts;
2. Leadership scientifique : miser sur la position du gouvernement qui, en sa qualité de leader national, peut promouvoir la recherche scientifique et socio-économique, ainsi que la mise au point des instruments nécessaires à la gestion efficace de l'eau;
3. Planification intégrée : engagement à une planification à long terme pour la mise en valeur et la gestion des ressources en eau;
4. Législation : application plus rigoureuse de la législation fédérale pour protéger la qualité et la quantité de l'eau;

5. Sensibilisation du public : encourager la participation publique et élaborer un programme national de sensibilisation à l'économie de l'eau.

5.2.1 Politique

La politique fédérale de l'eau susmentionnée montre le rôle qu'un gouvernement peut jouer dans l'application de recherches aux infrastructures d'eau et d'égouts, c'est-à-dire la manière dont des politiques exhaustives peuvent être élaborées pour satisfaire aux besoins actuels et futurs en matière d'infrastructures. Les gouvernements fédéral et provinciaux devraient être encouragés à formuler des politiques qui encouragent l'innovation dans les infrastructures municipales. Ces politiques devraient porter notamment sur :

- utilisation des sols
- utilisation et permis d'utilisation d'eau
- gestion de la demande d'eau
- expansion économique
- recherche et développement
- gestion et échange d'information
- normes
- programmes et incitatifs de partage des coûts et des risques

Ces politiques devraient viser à encourager l'innovation, à réduire le gaspillage, à modifier nos attentes et à changer la manière dont nos villes se développent. Elles devraient aussi être axées sur la réduction de la bureaucratie, le meilleur rendement du gouvernement et l'initiative dans le secteur privé.

5.2.2 Lois, codes et règlements municipaux

Les politiques sont appliquées et respectées par le truchement de lois, de codes et de règlements municipaux.

Pour favoriser l'application des recherches et l'innovation dans les infrastructures municipales, tous les niveaux de gouvernement devraient être encouragés à accélérer leurs démarches législatives qui, à l'heure actuelle, demandent beaucoup de temps et d'énergie. Les longs délais nécessaires confirment l'impression que bon nombre de ces documents et décrets sont périmés. En outre, ces gouvernements et leurs organismes devraient être plus sensibles aux réactions exprimées concernant l'application de ces mesures.

En outre, pour encourager l'innovation et minimiser le besoin de réviser les textes en raison de l'évolution rapide de la technologie, les documents devraient offrir plus de souplesse. En l'occurrence, les codes et règlements municipaux devraient permettre une interprétation plus large, de façon que les nouvelles technologies puissent assurer la même performance mais de façon différente. Les codes, à l'instar des normes, devraient être davantage axés sur la performance.

5.2.3 Établissement de normes et homologation

À l'heure actuelle, la normalisation et l'homologation des matériaux et équipements sont la responsabilité d'organismes privés. Les gouvernements sont représentés par l'intermédiaire de membres faisant partie de comités bénévoles. Vu l'évolution effrénée de la technologie partout au monde et la lourdeur des rouages de ces organismes, il faudrait qu'un organisme impartial comme un gouvernement joue un rôle central dans ce domaine. Son rôle consisterait probablement à faire avancer les travaux, plutôt qu'à écrire des normes détaillées ou tester les produits. Les gouvernements fédéral et provinciaux pourraient :

- remplir la fonction de centre d'information sur les nouvelles technologies et applications;
- fournir de l'information sur les normes internationales
- encourager l'utilisation et l'acceptation de normes différentes
- promouvoir l'utilisation de produits, de procédés et de matériaux différents par le truchement de projets de démonstration.

5.2.4 Coopération entre organismes

La participation d'un grand nombre d'organismes tant fédéraux que provinciaux dans presque toutes les opérations gouvernementales est communément considérée excessive, déroutante et improductive. Les auteurs de la politique fédérale sur l'eau en étaient conscients lorsqu'ils ont énoncé le besoin d'assurer la coordination et la consultation entre gouvernements.

Au chapitre de l'application de la recherche aux infrastructures municipales, il serait nécessaire également que chaque niveau de gouvernement coordonne et rationalise ses propres opérations. Le fonctionnariat est une structure classique, où chaque ministère devient un monde isolé.⁹⁶ Or, il n'existe pas un seul ministère qui puisse s'occuper des dossiers associés à l'infrastructure, et certainement pas l'application des recherches ou l'innovation en vue d'améliorer la manière dont nos équipements sont planifiés, conçus, construits, exploités et entretenus.

On trouve en Suède un modèle de coopération entre organismes. Le Supertube est un tunnel qui renferme tous les services publics nécessaires à un aménagement résidentiel, qui normalement auraient été posés à l'intérieur de tranchées individuelles. Sa construction dans un sol instable a permis de réaliser des économies appréciables par rapport aux méthodes traditionnelles et devrait réduire au minimum les problèmes de tassement.

On a commencé par en faire un projet de démonstration au niveau de la conception et de l'installation, mais il fallait modifier les règlements locaux et régionaux, ainsi que les principes de calcul classiques. Tous les intéressés ont été de la partie, à savoir de nombreux services municipaux, des organismes gouvernementaux, des services publics, des ingénieurs conseils et des constructeurs.

5.2.5 Financement

Il faudra investir des fonds pour que les Canadiens puissent créer, mettre au point et perfectionner des innovations au chapitre des infrastructures municipales. Par contre, bien que les budgets se comprimeront dans les administrations gouvernementales, ces dernières pourraient encourager le secteur privé à investir.

Nous avons besoin de fonds pour faire de la recherche en conception, en matériaux et en méthodes de construction. Le gouvernement fédéral a reconnu le rôle que peut jouer le secteur privé en recherche lorsqu'il a privatisé le centre des techniques des eaux usées, laboratoire de recherche scientifique à Burlington (Ontario). La privatisation reflète également le caractère concurrentiel du marché et la nécessité de réaliser des recherches qui ont des applications pratiques.

Il serait nécessaire, en outre, de coordonner les activités de divers organismes gouvernementaux qui s'occupent de recherches ayant des applications dans les infrastructures municipales. Au niveau fédéral, il s'agirait de la SCHL, de RNC, du CNRC et d'IC. Il pourrait être utile de regrouper leurs efforts sous une seule organisation qui assurerait tout l'échange d'information avec les municipalités du Canada. De cette façon, les municipalités n'auraient pas à réinventer la roue chaque fois qu'il faut évaluer les antécédents et la performance d'innovations.

Encore une fois, on trouve un bon exemple en Suède. Le conseil suédois de recherche en bâtiment affecte des fonds à toute une gamme de recherches en matière d'habitation et d'infrastructures. On lui attribue notamment le Supertube et la maison autonome, conçue pour les climats arctiques/antarctiques, qui consomme très peu d'énergie et n'évacue aucun déchet.

Il faudrait aussi financer le renouvellement, l'amélioration et le remplacement des ouvrages. Ce financement stimulerait l'innovation. Aux États-Unis, l'Environmental Protection Agency (EPA) a déjà accordé des subventions comportant des incitatifs pour l'amélioration des installations relatives aux eaux usées.⁷⁵ Une prime était offerte si le programme ou le projet comportait de nouvelles technologies. Pour encourager l'innovation davantage, l'EPA garantissait le financement d'un remplacement par des techniques classiques si la nouvelle technologie échouait.

Une nouvelle formule de financement a été proposée dans un article de Dave Barrett, député et ancien premier ministre de la Colombie-Britannique.³ Dans cet article, il fait état de la conjoncture actuelle, décrite dans un rapport de la Fédération canadienne des municipalités (FCM) en 1985 au chapitre des infrastructures et des coûts d'amélioration au Canada. Ces coûts représentent moins de 20 pour cent de la valeur totale des fonds que des Canadiens ont investis dans des régimes enregistrés d'épargne-retraite (RÉER). À son avis, les municipalités pourraient réunir suffisamment de fonds pour les infrastructures si elles émettaient des obligations franches d'impôt ou d'autres instruments financiers admissibles aux RÉER. L'activité économique occasionnée par les programmes

d'infrastructures réduirait le chômage et les impôts perçus pourraient aider à financer le programme. De cette façon, les gouvernements fédéral et provinciaux n'auraient pas à accroître leurs déficits.

Il semble que cette proposition offre des possibilités intéressantes et plausibles. Cette formule de financement cadre bien avec les nouvelles technologies qui répondent aux besoins actuels et futurs en matière d'infrastructures.

5.3 Rôle des organisations professionnelles

Les organisations professionnelles ont aussi un rôle à jouer pour faire accepter l'innovation dans le domaine de l'infrastructure municipale d'eau et d'égouts.

Les associations professionnelles d'ingénieurs doivent reconnaître que les infrastructures ne peuvent pas continuer à se développer comme à l'heure actuelle. Elles devraient encourager leurs membres à redécouvrir leur fonction première qu'est l'ingéniosité et l'innovation, et cesser d'attacher autant d'importance aux risques et aux responsabilités civiles. Les étudiants et les praticiens devraient être encouragés à trouver de nouvelles façons de faire les choses au lieu de toujours répéter ce qui a déjà été fait parce que c'est sûr, facile et bon marché. Les associations devraient offrir des possibilités d'apprendre des choses nouvelles, d'applications techniques et de perfectionnement.

Des associations professionnelles telles que la Western Canada Water and Waste Association (WCWWA) existent dans la plupart des provinces. Elles regroupent des ingénieurs et des techniciens désireux d'acquérir et d'échanger des informations sur la planification, la conception, la construction et le fonctionnement d'infrastructures. Elles jouent un rôle de premier plan en favorisant la compréhension et la connaissance des innovations par des séminaires techniques et des échanges d'information sans formalités entre experts-conseils, entrepreneurs et représentants gouvernementaux.

5.4 Rôle des usagers (municipalités)

En bout de ligne, les usagers ou propriétaires des infrastructures d'eau et d'égouts sont les municipalités. Un grand nombre d'entre elles exploitent ces équipements dans une optique linéaire, c'est-à-dire que les budgets de remplacement sont majorés tous les ans en fonction du taux d'inflation, l'argent étant dépensé pour corriger les pires problèmes de l'année. Les problèmes qui ne peuvent être rectifiés une année sont reportés à l'année suivante. Leurs méthodes de calcul et de construction sont normalement celles qui ont fait leurs preuves. Toute dérogation à la norme est accueillie froidement, comme si c'était un autre problème à régler.

Par exemple, certaines municipalités exécutent les levés d'infrastructures pour leurs projets de renouvellement de la même façon depuis des années, et elles ont élaboré des systèmes internes pour le traitement et le classement de l'information. Leur méthode de collecte et de gestion de l'information est devenue un carcan. Pour leur part, elles estiment que c'est non seulement la meilleure façon, mais la seule façon d'accomplir le travail. Avec les nouvelles techniques de levé global et de préparation des dessins assistée par ordinateur, on peut collecter, gérer et tracer l'information beaucoup plus rapidement et à bien meilleurs frais qu'avec les techniques manuelles internes. Mais parce que le système de la municipalité ne peut pas être adapté à la nouvelle approche, cette dernière est considérée comme un problème plutôt qu'une solution.

Nous devrions inciter les municipalités à prendre un peu de recul et à adopter une vue d'ensemble de leur réseau d'infrastructures, des services qu'elles assurent et de leur but ultime. Elles devraient aussi chercher des occasions d'incorporer les applications de recherche et l'innovation dans leur planification. Ceci n'est pas facile à faire lorsqu'on passe chaque jour à s'occuper des dossiers immédiats.

Les municipalités devraient aussi examiner leurs niveaux et sources de financement. Elles ont toujours établi leurs tarifs et leurs taxes selon ce que la population est disposée à payer. Ce qui veut dire que les coûts d'infrastructures ne sont pas fondés sur le coût réel des services d'eau ou d'égouts; on les a plutôt majorés à des niveaux qui ne devraient pas perturber les contribuables. Si les prix réels étaient perçus, il y aurait moins de gaspillage, les coûts de fonctionnement et d'entretien des réseaux baisseraient, et il y aurait une capacité accrue pour l'avenir.

Les municipalités n'ont pas établi de ressources d'amortissement comme devraient le faire de véritables services publics financièrement autonomes. Ces fonds d'amortissement devraient être accumulés chaque année pour financer les projets de remplacement. Il en résulte que ces fonds sont inexistantes alors que l'entretien des réseaux est insuffisamment financé. Si on néglige d'entretenir les réseaux, les infrastructures dureront moins longtemps et auront besoin d'être remplacées.

Il existe une autre source de financement indirecte qui est mise à la disponibilité des municipalités et qui s'appelle « jumelage économique ». Cette pratique existe depuis des années, voire des décennies, en Europe, mais ce n'est que récemment que la question a été soulevée au sein de la FCM.⁹⁷ Selon cette formule, les municipalités deviennent les partenaires et les commanditaires d'industries locales qui passent des contrats et concluent des marchés avec des entreprises étrangères. L'entreprise canadienne tire profit des contacts initiaux et de contrats plus facilement acceptés, car les gouvernements du monde entier interviennent de plus en plus dans les transactions financières et commerciales internationales. Quant à la municipalité, elle est avantagée au niveau de l'emploi, de l'expansion économique et des recettes fiscales accrues. Elle tire profit également du développement de nouvelles technologies d'infrastructure au pays.

5.5 Rôle du secteur privé

L'exemple précédent pourrait inclure un rôle éventuel pour le secteur privé en ce qui a trait au développement et à l'application d'innovations et de technologies à l'échelle internationale ou même locale.

La participation financière ou autre du secteur privé au chapitre des infrastructures municipales a également été soulevée en rapport avec les obligations municipales ou le financement des RÉER. Il pourrait aussi y avoir des investissements directs, des partenariats ou la privatisation d'un élément particulier d'infrastructures tel qu'une station de traitement d'eaux usées.

On voit au Canada et aux États-Unis un nombre croissant de stations de traitement d'eaux usées municipales dont l'exploitation a été confiée à une entreprise privée. Aux termes d'une entente négociée, une entreprise privée devient responsable du fonctionnement et de l'entretien de l'installation, et d'assurer la conformité avec la réglementation sur l'évacuation. L'entreprise reçoit une somme couvrant toutes les dépenses nécessaires et comportant un bénéfice raisonnable. Avec ce genre d'arrangement, la station est essentiellement gérée comme un service public et est considérée comme un investissement qui doit être bien protégé. La municipalité et les contribuables sont tenus de payer le coût réel du fonctionnement et de l'entretien de l'installation. Les avantages pour la municipalité sont qu'elle est débarrassée des problèmes de dotation en personnel, de fonctionnement et de réglementation. En outre, elle n'est plus obligée d'annoncer la mauvaise nouvelle lorsque les tarifs doivent être augmentés. Le Royaume-Uni a privatisé la majorité des réseaux d'eau à la fin des années 1980. Depuis lors, les majorations annuelles de tarifs ont dépassé de beaucoup le taux de l'inflation, surtout en raison du besoin trop longtemps reporté de moderniser et d'améliorer l'efficacité d'installations vétustes.

Il n'est pas nécessaire que la privatisation des infrastructures municipales ne s'arrête au fonctionnement et à l'entretien. Elle peut englober le financement, la construction, la propriété, l'exploitation et le transfert. Le secteur privé ou un partenariat entre un niveau supérieur de gouvernement et une société privé peuvent intervenir à l'une ou l'autre de ces étapes.

Le pont Lions Gate de Vancouver est un bon exemple. Les habitants de cette ville sont fiers de ce point d'intérêt local. Le pont a été construit dans les années 1930 par une société privée qui voulait rendre plus accessibles les terres à mettre en valeur de l'autre côté du port de Vancouver. La société a perçu un droit de péage jusqu'au moment où elle a récupéré son investissement, puis a cédé la propriété au gouvernement de la Colombie-Britannique. C'est le secteur privé qui a financé, construit, exploité puis cédé la propriété à la province.

Le poste de péage est resté en place pour une courte période encore, après quoi le gouvernement de l'époque l'a éliminé. Le pont en est maintenant presque à la fin de sa vie utile et ne pourra pas être facilement élargi pour desservir les populations croissantes et le trafic intense des temps modernes. Les projets de remplacement ont été chaudement débattus, le plus gros de la population étant opposé au péage pour acquitter le coût de la construction d'un nouveau pont.

Plusieurs investisseurs privés sont venus de l'avant pour présenter des propositions concernant le financement, la construction, la cession et le fonctionnement d'un nouveau pont en vertu d'un contrat de cession-bail. Ils ont avancé l'argument que le gouvernement, donc les contribuables, en bénéficieraient du fait que la dette publique n'augmenterait pas et que le principe paye-qui-profitte. En outre, l'efficacité du secteur privé devrait apporter un pont moins coûteux, construit en moins de temps.

Le secteur privé pourrait être d'un apport précieux à l'infrastructure canadienne au niveau de l'approvisionnement et des services connexes. Il pourrait y avoir privatisation ou, encore, sous-traitance des fonctions et services municipaux. Il est évident que certaines

municipalités en sont déjà conscientes, car elles font appel à des concepteurs conseils et à des entrepreneurs spécialisés pour la construction et l'entretien de leurs projets. Ces travaux sont normalement exécutés à court terme, à l'intérieur d'un cycle annuel. Il serait déraisonnable de se doter de personnel et d'équipement permanent pour ce genre de travaux.

Il y a peut-être d'autres secteurs ou fonctions où le secteur privé serait plus efficace et économique dans le domaine des infrastructures municipales d'eau et d'égouts.

5.6 Rôle des établissements d'enseignement

Une plus grande sensibilisation de la part de la population en général serait très avantageuse pour le renouvellement et la gestion des infrastructures. Comme elles sont sous la terre, on a tendance à oublier que l'eau et les eaux usées font partie de nos infrastructures. Le pont Lions Gate et l'amélioration de l'autoroute 407, en Ontario, font couler beaucoup d'encre, mais on ne manifeste pas autant d'intérêt pour les réseaux d'égouts qui se détériorent et les stations de traitement qui font défaut. Tous les éducateurs peuvent jouer un rôle afin de corriger cette situation. Aux États-Unis, certaines organisations professionnelles telles que l'AWWA mettent d'excellents documents didactiques à la disposition des écoles élémentaires et secondaires. Il existe aussi des programmes où des professionnels se rendent fréquemment dans les écoles pour parler de l'importance de l'eau et de l'infrastructure qui la soutient.

Les écoles de génie pourraient aussi jouer un rôle clé en modifiant la mentalité de la communauté d'ingénieurs afin qu'elle adopte des solutions novatrices et plus créatrices au renouvellement des infrastructures. Les cours portant sur l'infrastructure municipale devraient mettre l'accent sur la création plutôt que l'imitation, et devraient toujours poser la question : « Y a-t-il un meilleur moyen ? ». Les cours de génie devraient aussi faire ressortir le lien qui existe entre l'innovation et la compétitivité dans l'économie internationale.

6.0 CONCLUSIONS

Voici donc les conclusions fondamentales tirées de la présente étude. Il s'agit ici d'une synthèse des conclusions, car il serait sans doute futile de parler d'un sujet de recherche ou d'une innovation particulière, puis d'en analyser le succès ou l'échec. De l'avis des auteurs, il s'agit ici de quelque chose de plus fondamental qui nécessite un changement de mentalité en ce qui concerne l'innovation en matière d'infrastructure.

Les conclusions fondamentales tirées de la présente étude sont les suivantes :

1. La croissance urbaine dans nos villes, résultat de migration et d'immigration, accentuera les problèmes d'infrastructures qui existent déjà. Ce sera particulièrement vrai des endroits où la croissance ne sera pas concentrique, où il faudra continuellement agrandir les réseaux d'eau et d'égouts et où on n'insistera pas sur l'innovation ou le changement.
2. Les Canadiens pensent à court terme pour tout ce qui touche les équipements d'eau et d'égouts. Lorsqu'elles envisagent des dépenses d'infrastructures, les municipalités cherchent des solutions à court terme, sans considérer tout le cycle de vie de l'élément d'actif. Les équipements d'eau et d'égouts ne sont généralement pas bien entretenus, et nous avons gravement besoin de trouver des façons d'optimiser la performance et de prolonger la vie de nos installations existantes.

3. Des efforts importants ont été déployés dans le domaine de la conception et de la gestion des équipements d'eau et d'égouts, qui nous ont apporté des innovations valables. Nous en avons donné des exemples dans le rapport. Ces recherches ont surtout été financées par des deniers publics et réalisées dans des instituts provinciaux et fédéraux et dans les universités. Ceci fait contraste avec le secteur de l'électronique et des communications, et d'autres secteurs, où la recherche et le développement sont financés par les budgets d'exploitation d'entreprises privées qui fabriquent et commercialisent les innovations.
4. Il existe définitivement des barrières à l'application d'innovations aux projets et problèmes d'infrastructures d'eau et d'égouts.

- LEUR FONCTIONNEMENT

Le plus souvent, les infrastructures d'eau et d'égouts appartiennent à des entités publiques dirigées par des représentants élus secondés par des professionnels ou paraprofessionnels qui assurent le fonctionnement journalier des installations. On met beaucoup de pression pour que les coûts de fonctionnement et d'entretien n'augmentent pas, pour prévenir les majorations de taxes. Elles se manifestent de plus en plus dans les années 1990 car on a mis un accent renouvelé sur les compressions de dépenses et de la dette publique. Un grand nombre d'exploitants municipaux engagent du personnel à temps partiel ou temporaire, ce qui ne favorise pas la continuité et le dévouement. Ils ne pensent pas en termes d'innovations - ils se préoccupent tout simplement de garder le réseau en marche.

- LEUR CONCEPTION

Les ouvrages d'infrastructures sont ordinairement conçus par des ingénieurs conseils appelés à présenter des propositions compétitives. Celui qui propose une approche nouvelle à un problème d'infrastructure est désavantagé parce que l'innovation demande du temps et de la réflexion. Celui qui a une longueur d'avance a déjà fait le travail, n'a qu'à transférer les détails d'un ancien projet à un nouvel emplacement et est capable de produire des calculs répétitifs et éprouvés le plus efficacement. Il arrive souvent qu'il y ait une résistance inhérente aux idées nouvelles, qui prend la forme d'une politique stipulant qu'aucun nouveau système ne sera accepté à moins qu'il n'ait déjà fait ses preuves ailleurs.

- LEUR CONSTRUCTION

On trouve les mêmes obstacles à l'innovation dans la construction des infrastructures. L'appel d'offres donne peu de marge de manoeuvre aux soumissionnaires qui pourraient vouloir présenter des méthodes novatrices. Ici encore, c'est l'entrepreneur qui a déjà fait le travail et qui possède l'équipement de terrassement qui est avantagé.

- LEUR FINANCEMENT

Il est rare que l'utilisateur finance entièrement sa part des équipements d'eau et d'égouts. Dans la plupart des régions du Canada, il existe des programmes de partage des coûts provinciaux qui couvrent plus de la moitié des dépenses en capital. Le consommateur est de ce fait isolé de la réalité et ne voit pas combien il en coûte réellement de fournir le service. Si le consommateur canadien était directement responsable des frais, il serait plus conscient des dépenses, plus enclin à économiser l'eau et plus ouvert à l'innovation qui favorise l'efficacité et les réductions de dépenses.

5. Il nous faudrait sans tarder adopter dans le domaine de l'infrastructure certaines approches qui ont donné de bons résultats dans d'autres secteurs, et se pencher sur les moyens de surmonter les obstacles indiqués au numéro 4 ci-dessus.

En voici quelques exemples :

- logement (énergie intrinsèque, tarification au cycle de vie)
- électricité (économie pour retarder l'expansion)
- sources étrangères (Supertube suédois, réseaux d'égouts différents)

Les meilleures innovations dans ce domaine n'ont pas été inventées chez nous. La commercialisation et le marketing sont toutefois aussi importants que l'invention. L'insuline a été découverte au Canada mais n'est pas devenue un succès commercial ici.

6. Les entreprises canadiennes seront probablement exclues d'un gros marché étranger éventuel dans le domaine des aménagements d'infrastructures dans le Tiers-Monde si une industrie viable, énergique et novatrice ne se développe pas au pays. Il s'est avéré que les entreprises connaissent rarement le succès sur des marchés étrangers si elles n'ont pas satisfait aux conditions exigeantes dans leur pays d'abord.

7. Il nous faut trouver de nouvelles façons de gérer nos infrastructures aux niveaux suivants :

- urbanisme
- conception
- construction
- fonctionnement et entretien
- renouvellement et réhabilitation.

8. Les intervenants ci-dessous peuvent définitivement jouer un rôle si nous modifions la manière dont les infrastructures desservent le consommateur :

- gouvernement fédéral
- gouvernements provinciaux
- municipalités
- secteur privé
- associations professionnelles d'ingénieurs
- autres professions (avocats, comptables)
- organismes d'approbation (codes et normes, assurance)

Ce qu'il nous faut le plus, c'est un organisme efficace de coordination qui veillerait à ce que ces changements soient opérés.

Sous l'angle de la conception, de l'aménagement et du fonctionnement des infrastructures municipales, nous souffrons de myopie. C'est une optique inhérente à notre processus de planification, vraisemblablement reliée à la façon traditionnelle d'exploiter nos mines, nos forêts et les autres richesses naturelles, les piliers de notre économie, toujours de façon temporaire et au diapason des fluctuations du prix des denrées à l'échelle internationale. Comme les égouts sont généralement construits pour durer de cinquante à cent ans, nous devrions peut-être songer à des manières différentes de les financer, de les concevoir, de les construire et de les entretenir. C'est essentiellement pour cette raison que la recherche sur les réseaux d'infrastructures se traduit rarement en solutions novatrices dans le domaine. Comme le disait le physicien Amory Lovins, directeur de la recherche au Rocky Mountain Institute : « Pour innover, il faut réfléchir, et réfléchir, c'est difficile. »

7.0 BIBLIOGRAPHIE

1. See Federation of Canadian Municipalities (January 1985), Municipal Infrastructure in Canada: Physical Condition and Funding Adequacy, Vol. 4, No. 1. Ottawa.
2. Ibid, p.4.
3. "Up By Our Bootstraps", The Vancouver Sun (January 23, 1992).
4. Peter Spurr and Marie-Hénène Pastor, Urban Infrastructure in Canada: Background Paper (April 1989), a report prepared by Research Division, Canada Mortgage and Housing Corporation.
5. Ibid.
6. Ibid., pp.2-4.
7. Environment Canada, National Inventory of Municipal Waterworks and Wastewater Systems in Canada (1986), Ottawa, Environment Canada Environmental Analysis Branch, p.14.
8. "Montreal: 'An Island Surrounded by a Sewer'", Ottawa Citizen (October 6, 1991).
9. Its findings were submitted in CH2M HILL Engineering Ltd., Liquid Waste Management Plan - Stage II: Sewage Treatment Options and Locations of Sites, (June 1992), Vancouver, B.C.
10. Alison Piper, "Managing Underground Infrastructure: A User-Pay Approach", Engineering Dimensions, Vol.12, No.5 (September/October 1991), p.16.
11. Federation of Canadian Municipalities, p.50.
12. Ibid, p.51.
13. Peter Spurr and Marie-Hélène Pastor, p.11.
14. Piper, p.27.
15. Environment Canada, p.14.
16. Spurr and Pastor, Appendix 1, p.1.
17. Rod Jackson, "Metal Materials - Technical Memorandum", CH2M HILL Inc. (1992).
18. Spurr and Pastor, Appendix 1, p.1.
19. Ellen E. Moyer, Economics of Leak Detection: A Case Study Approach, Denver, Colorado, American Water Works Association (1985).

20. Brown and Caldwell Inc., (November 1984), Utility Infrastructure Rehabilitation, for the U.S. Department of Housing and Urban Development, Walnut Creek, California, Chapter 5.
21. C. Gates, "Water Efficiency - A Growing Challenge", Construction Canada, May 1993.
22. Rainfall Induced Infiltration into Sewer Systems (August 1990), report to the U.S. Congress, EPA.
23. T. Field, D. Atkinson, and A. Waters, "Rehabilitation/Upgrading Alternatives for a Sewer System with Serious Inflow/Infiltration", presented at the Western Canada Water and Wastewater Association Annual Conference, Winnipeg, Manitoba, October 1988.
24. C.H. Steketee, "Why EPA's I/I Control Program Fails", Public Works, July 1981.
25. CH2M HILL Engineering Ltd. (March 1992), Stormwater Control to Prevent Basement Flooding, a report prepared for Canada Mortgage and Housing Corporation, p.20.
26. James F. MacLaren Limited (1976), Feasibility Study for Combined Sewer Pollution Abatement by Real Time Control, a report prepared for the City of Edmonton, Chapter 4.
27. Environment Canada, p.14.
29. Piper, pp.25-27.
30. Ray K. Linsley, and Joseph, B. Franzini, Water Resources Engineering, New York, McGraw-Hill, Inc. 1972, p.326.
31. Ibid, pp.326-327.
32. R.Z. Jackson, et al., "Water Treatment Plant Cathodic Protection Implementation: City of Edmonton", Presented at the National Association of Corrosion Engineers Conference, Edmonton, Alberta, 1992.
33. F.M. Lea, The Chemistry of Cement and Concrete, Chemical Publishing Company Inc., 1971.
32. P. McGrath and D.R. Morgan, "Cementitious Materials - Technical Memorandum", HBT AGRA Limited, February 1992.
33. American Water Works Association (1980), PVC Pipe — Design and Installation - Manual of Water Supply Practices, (M23-80) Denver, Colorado, p.4.
34. Ibid., p.9.
35. Ibid., p.9.
36. Ibid., p.10.
37. B. Benson, "Plastic Materials - Technical Memorandum", Plastecnic, (1992).

38. Richard W. Robbins, et al., Effective Watershed Management For Surface Water Supplies, Portland, Oregon, American Water Works Association, (1992).
39. D. Ross, CH2M HILL Technical Memorandum, Vancouver, British Columbia.
40. Linsley and Franzini, p.598,599.
41. CH2M HILL Inc. Newsletter, "The Straight Scoop".
42. Task Committee on Risk & Reliability Analysis of Water Distribution Systems, of the Committee on Probabilistic Approaches to Hydraulics of the Hydraulics Division, of the American Society of Civil Engineers (1989), Reliability Analysis of Water Distribution Systems, New York, American Society of Civil Engineers, p. 194.
43. Kanonic Controls Ltd. (August 2, 1991), "Water and Sewer Control System - Needs Assessment and Planning Report", District of Saanich, British Columbia.
44. M. Fortin and B. Mitchell (September 1990), Water and Wastewater Charges for Ontario: The User Pay Principle, Ontario Sewer and Watermain Contractors Association, Toronto, Ontario.
45. P.H. Pearse, F. Bertrand and J.W. MacLaren (September 1985), Currents of Change - Final Report -Inquiry on Federal Water Policy, Ottawa, Ontario, Chapter 6.
46. Ibid.
47. Health and Welfare Canada (1989), Guidelines for Canadian Drinking Water Quality - Fourth Edition, Ministry of Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario.
48. Pearse, Bertrand and MacLaren, Chapter 6.
49. Paul Muldoon and Carole Saint-Laurent, Turning Off the Tap: Water Conservation Law in Ontario, The Canadian Institute for Environmental Law and Policy (July 1990), p.19.
50. REIC and Associates, Water Conservation, p.19, Willowdale, Ontario.
- 50a. J.W. MacLaren, "Underground Piping Systems", Proceedings of the First Canadian Conference on Urban Infrastructure (February 1987), Toronto, Ontario, pp.137-152.
51. J. Ashton, "Societal Issues - Technical Memorandum", Urbanics Consultants, 1992, Vancouver, British Columbia.
- 51a. REIC and Associates, p.4., Willowdale, Ontario.
52. T. Field and A. Highstreet, Municipal Water Supplies - Role for Demand Modification Measures, Presented at the Western Canada Water and Wastewater Association Annual Conference (October 1990), Regina, Saskatchewan.
53. H. Foerstal, Personal Communication, Environment Canada, Ontario, May 1992.

- 53a. William O. Maddaus, Water Conservation, American Water Works Association (1987), Denver, Colorado.
54. Stephen A. McKelrie and William W.S. Gary, "High-Tech No Dig Application Advance Rapidly", Environmental Science and Engineering, September 1991, Aurora, Ontario, p.18-19.
55. R.W. Connelly Associates Inc., Consulting Engineers and Planners (November 1991), Information Bulletin, "Small Bore Sewers - A Cost Effective Technology", Carp, Ontario.
56. CH2M HILL Inc. Brochure, "COMPS - Computerized Operations and Maintenance Programs", Corvallis, Oregon.
57. S.G. Nutt, B.E, Jank and J.P. Stephenson, "New Concepts for Upgrading Wastewater Treatment Plants", presented at the First Canadian Conference on Urban Infrastructure (February 1987), Toronto, Ontario.
58. G. Patry Gilles, Hydromantis, Inc. Brochure, (1991), "General Purpose Simulator (GPS) - Computer Program for Dynamic Modelling and Simulation of Large-Scale Wastewater Treatment Plants", Hamilton, Ontario.
59. D.C. Doherty, N. Vardin and C.S. Kitchen, "Upkeep of Municipal Services - The Toronto System" Proceedings of the First Canadian Conference on Urban Infrastructure (1987).
60. D. Jochim and J. Dobrovolny, "Emergency Water System Planning for Vancouver". Presented at the American Water Works Association Annual Conference (June 1992), Vancouver, British Columbia.
61. K. O'Connell, "Allocation of Water System Demands in a Hydraulic Model for the City of Vancouver", presented at the American Water Works Association Annual Conference (June 1992), Vancouver, British Columbia.
62. Nutt, Jank and Stephenson
63. Gilles, Hydromantis, Inc.
64. Stephen J. Beard, "Waste Water, Want Water", TREK, Vol.2 No.1. February/March 1992. pp.16-20, Vancouver, British Columbia.
65. Population Crisis Committee, US Government (1990), Cities, Life in the World's 100 Largest Metropolitan Areas, Washington, D.C.
66. US Department of Commerce (July 1987), Effects of Structural Change in the US Economy on the Use of Public Work Services, Washington DC.
67. John P. Eberhard, "A Third Generation of Urban Systems Innovations", Cities, February 1990, London, England.
68. Solplan Review, PowerSmart Update. December-January 1992, Vancouver, British Columbia.

69. Swedish Council for Building Research (1992), Forming a New Industry - International Building Production, Stockholm, Sweden.
70. Canada Mortgage and Housing Corporation (1991), Optimize, A Method for Estimating the Lifecycle Energy and Environmental Impact of a House, Ottawa, Ontario.
71. Niklaus Kohler, "Life Cycle Costs of Building", presented at European Forum on Building and Environment (March 1991), University of British Columbia, Vancouver, British Columbia.
72. The Vancouver Sun (May 11, 1993), "Developer with a Social Conscience Builds Something Different", Vancouver, B.C.
73. Solplan Review (December-January 1992), "Earth Energy Systems: Ground Source Heat Pumps", Vancouver, British Columbia.
74. The Vancouver Sun (May 1, 1993), "An Economic Boom is Fuelled by Environment-Destroying Material", Vancouver, B.C..
75. Otis, Richard J. (August 4, 1992), Statement on Behalf of the Water Environment Federation, before the Subcommittee on Investigations and Oversight, House Committee on Public Works and Transportation at its Hearing on Wastewater Treatment Needs in Small Communities, Alexandria, Virginia.
76. CH2M HILL (Spring 1989), Reports, "Taking the Initiative on Chesapeake Bay", Denver, Colorado.
77. CH2M HILL (Summer 1990), Reports, "Turning Problems Into Resources... A Multi-State Approach", Denver, Colorado.
78. CH2M HILL (Spring 1992), Reports, "Award Winning Innovations", Denver, Colorado.
79. Steve Bonk, "Emerging Considerations for Safe Drinking Water in Canada", presented during National Lecture Tour, Canadian Society for Civil Engineering, Environmental Engineering Division (March 30 - April 10, 1992), Montréal Québec.
80. Public Innovation Abroad (February 1992), "Sweden's Supertube Answer to Poor Soil", Washington, D.C.
81. CH2M HILL (Winter 1990), Reports, "Corrosion Control - An Ounce of Prevention", Denver, Colorado.
82. Pl Kumar Mehtar, Concrete, Structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
83. CH2M HILL (Spring 1992), Reports, "Award Winning Innovations", Denver, Colorado.
84. CH2M HILL (1992), Aquifer Storage and Recovery (ASR), Denver, Colorado.
85. CH2M HILL, Reports, Spring 1992, Denver, Colorado.

86. Daniel H. Leighton and Daniel L. Mueller, "Pretty Pictures and More, GIS for Water Utilities", printed in Water Resources Infrastructure: Need, Economics, and Financing, Proceedings of the Symposium, American Society of Civil Engineers, 1990, New York, New York.
87. National Research Council of Canada (1989), Introductory Guide to Trenchless Technology, Ottawa, Ontario.
88. David King, Trenchless Technology, The Consultant's View, presented at Trenchless Technonolgy, No-Dig Technical Seminar (November 7, 1990), Vancouver, B.C.
89. Terrance M. Brueck and Richard L. Gerstberger, "Emerging Standards for Water Utility Computerization", Journal AWWA, April 1993, Denver, Colorado.
90. CH2M HILL (1992), "Water Reuse", Brochure, Denver, Colorado.
91. William C. Lauer, Stephen E. Rogers, Anthony M. LaChance and Myron K. Nealey, "Process Selection for Potable Reuse Health Effects Studies", Journal AWWA, November 1991, Denver, Colorado.
92. Peter Russell and Richard Tobin, Domestic Water Conservation - The Light Grey Option, 1993, Ottawa, Ontario.
93. Corroon & Black, "Bonds and Insurance for Contractors", Brochure 1989, Seattle, Washington.
94. Association of Professional Engineers and Geoscientists of BC, "Code of Ethics", printed in BC Professional Engineer, August 1992.
95. The Ottawa Citizen, "Industry Accused of Ignoring Science", January 12, 1993, Ottawa, Ontario.
96. Robert I.G. Maclean, "Our Outnoded Structures Don't Work Well in a World that Demands Results", The Ottawa Citizen, January 10, 1993, Ottawa, Ontario.
97. Ernie Crist, "Twinning -- More Business, More Jobs - at the Double", The Vancouver Sun, May 6, 1993, Vancouver, B.C.