

Adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec

Analyse économique
et synthèse de l'étude



Décembre 2011





Coordination

Hervé Logé – Ville de Montréal

Recherche et rédaction

Samuel Bolduc – Institut national de recherche scientifique (INRS)

Caroline Larrivée – Consortium Ouranos

Hervé Logé – Ville de Montréal

Alain Mailhot – Institut national de recherche scientifique (INRS)

Mise en page et révision

Rémi Haf – Ville de Montréal

Diégo Robayo – Ville de Montréal

Révision linguistique

Marielle DeLorme

©Gouvernement du Québec, ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, 2011

ISBN 978-2-550-63722-6 (PDF)

Dépôt légal – 2011

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Bibliothèque et Archives Canada

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

Avertissement

L'information et l'analyse du présent rapport n'impliquent pas de reconnaissance de responsabilité à l'égard des litiges existants ou futurs à l'encontre d'une ville et constituent exclusivement un rapport scientifique sur les mesures d'adaptation aux changements climatiques.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les gouvernements du Québec et du Canada pour leur appui financier à ce projet en vertu du Fonds sur l'infrastructure municipale rurale (FIMR), volet 2, qui est géré par le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT). Ce rapport a été réalisé dans le but :

- 1. D'évaluer l'impact de l'intensification potentielle des précipitations sur un réseau de drainage urbain réel;**
- 2. D'évaluer techniquement et économiquement différents scénarios d'adaptation.**

La réalisation du rapport a été pilotée par la Ville de Montréal, en collaboration avec l'INRS-ETE et le consortium Ouranos.

Ce rapport est le résultat d'une collaboration entre plusieurs personnes qui ont généreusement accepté d'y consacrer leur temps et de partager leurs connaissances. De plus, la production de ce document n'aurait pu être possible sans l'effort soutenu des membres du comité de travail. Nous les remercions tout particulièrement pour leur disponibilité et leur enthousiasme tout au long du projet. Nous remercions aussi tous ceux et celles qui ont pris le temps de lire le document et de faire des commentaires sur les versions préliminaires du texte. Leur apport a grandement contribué à améliorer ce document, et nous leur en sommes très reconnaissants.

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | <u>CONTEXTE – PERTINENCE DE L'ÉTUDE POUR LES MUNICIPALITÉS</u> | 9 |
| 2 | <u>OBJECTIFS ET LIVRABLES DE L'ÉTUDE</u> | 11 |
| 2.1 | OBJECTIFS | 11 |
| 2.2 | PRÉCÉDENTS LIVRABLES | 13 |
| 3 | <u>FONCTIONS DU SYSTÈME DE DRAINAGE DANS LA GESTION DU CYCLE DE L'EAU</u> | 15 |
| 4 | <u>MESURES OPTIMALES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES : SYNTHÈSE DE LA REVUE DE LA LITTÉRATURE</u> | 18 |
| 5 | <u>COMPARAISON DES SCÉNARIOS D'ADAPTATION : NIVEAU D'INVESTISSEMENT ET NIVEAU DE SERVICE</u> | 22 |
| 5.1 | PLUIE DE CONCEPTION | 22 |
| 5.2 | DIMINUTION DES APPORTS D'EAU PAR LA RÉDUCTION DES SURFACES DRAINANTES | 23 |
| 5.2.1 | OBJECTIF DE RÉDUCTION DES SIDC | 23 |
| 5.2.2 | RÉPARTITION DE L'OBJECTIF DE RÉDUCTION DES SIDC ENTRE LES SOUS-SECTEURS | 24 |
| 5.2.3 | CALCUL DES VOLUMES ADDITIONNELS À CAPTER POUR CHAQUE SOUS-SECTEUR | 25 |
| 5.2.4 | RÉPARTITION DES VOLUMES À CAPTER SELON LES TYPES DE SIDC | 27 |
| 5.2.5 | MESURES DE GESTION OU DE RÉDUCTION DES APPORTS À METTRE EN PLACE ET ÉVALUATION DES VOLUMES À CAPTER | 28 |
| 5.2.6 | CALCUL DES COÛTS | 30 |
| 5.3 | AUGMENTATION DES CAPACITÉS DE RÉTENTION DE SURFACE | 32 |
| 5.4 | REDIMENSIONNEMENT DE CONDUITES | 33 |
| 6 | <u>ANALYSE DE COÛT DES SCÉNARIOS D'ADAPTATION</u> | 37 |
| 6.1 | SCÉNARIOS D'ADAPTATION AVEC REDIMENSIONNEMENT D'UN SEUL TRONÇON | 37 |
| 6.2 | SCÉNARIOS D'ADAPTATION AVEC REDIMENSIONNEMENT DE PLUSIEURS TRONÇONS | 40 |
| 6.3 | COMPARAISON DES SCÉNARIOS D'ADAPTATION | 42 |
| 6.4 | CONCLUSION | 45 |
| 7 | <u>CONCLUSION DE L'ÉTUDE</u> | 46 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 51 |
|------------------------------------|-----------|

| | |
|----------------|-----------|
| ANNEXES | 52 |
|----------------|-----------|

INDEX DES FIGURES

| | |
|---|----|
| <i>Figure 1 : Pourcentage des indemnités payées selon le type de sinistre, Bureau d'assurance du Canada (2006). Les données proviennent d'assureurs totalisant 83 % du volume des polices souscrites en assurance habitation (biens des particuliers) pour l'année 2005.....</i> | 11 |
| <i>Figure 2 : Démarche d'ensemble de l'étude.....</i> | 13 |
| <i>Figure 3 : Évolution historique de la gestion technique des réseaux de collecte vers une gestion des systèmes de drainage. Tirée de Blue-green fingerprints in the city of Malmö, Sweden (Stahre, 2008).....</i> | 17 |
| <i>Figure 4 : Étapes de l'analyse des coûts associés à la mise en place de mesures de gestion ou de réduction des apports.....</i> | 23 |
| <i>Figure 5 : Diminution relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour une réduction des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage de 5 %, 10 % et 15 % pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans.</i> | 32 |
| <i>Figure 6 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour les bassins de rétention de surface 122, 410 et 420 pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans.</i> | 33 |
| <i>Figure 7 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) pour les tronçons de conduites retenus et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans.....</i> | 36 |
| <i>Figure 8 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) pour les tronçons de conduites retenus et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans.</i> | 36 |
| <i>Figure 9 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans.</i> | 38 |
| <i>Figure 10 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans.</i> | 38 |
| <i>Figure 11 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour les scénarios élaborés à partir de combinaisons de tronçons de conduites pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans.</i> | 41 |
| <i>Figure 12 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour les scénarios élaborés à partir de combinaisons de tronçons de conduites pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans.</i> | 42 |
| <i>Figure 13 : Comparaison des variations dans la réduction de l'indice hydraulique et des coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) du scénario d'adaptation A1 et des blocs de scénarios A considérés dans Mailhot et al. (2009) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans.....</i> | 42 |
| <i>Figure 14 : Comparaison des variations dans la réduction de l'indice hydraulique et des coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) du scénario d'adaptation B3 et des blocs de scénarios B considérés dans Mailhot et al. (2009) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans.....</i> | 43 |

INDEX DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Caractéristiques et contraintes de sites d'implantation des PGO ¹ _____ | 20 |
| Tableau 2 : Objectif de réduction des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage et des superficies correspondantes. _____ | 24 |
| Tableau 3 : Répartition (%) de réduction des SIDC par sous-secteurs en fonction de la sensibilité relative de l'indice hydraulique pour une pluie de période de récurrence de 2 ans. _____ | 24 |
| Tableau 4 : Pourcentage de réduction des SIDC dans les sous-secteurs selon des objectifs de réduction des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage de 5 %, 10 % et 15 %. _____ | 25 |
| Tableau 5 : Réduction des apports (m ³) à considérer dans les sous-secteurs selon des scénarios de réduction des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage de 5 %, 10 % et 15 %. _____ | 26 |
| Tableau 6 : Types de SIDC présents dans le bassin de la 25 ^e Avenue. _____ | 27 |
| Tableau 7 : Répartition des types de SIDC dans chaque sous-secteur (%), les cellules en gris indiquent que ce type est absent du sous-secteur. _____ | 28 |
| Tableau 8 : Répartition (%) des volumes d'eau de ruissellement à capter selon les mesures de gestion ou de réduction des apports pour chaque type de secteur (pour connaître les différents types d'aménagements, voir BPR, 2008). _____ | 30 |
| Tableau 9 : Coût (\$) de mise en place de mesures de gestion ou de réduction des apports dans le sous-secteur 1 pour un objectif de réduction de 10 % des SIDC sur l'ensemble du bassin. _____ | 31 |
| Tableau 10 : Caractéristiques des tronçons et coût (\$) à la suite du redimensionnement des conduites à la catégorie supérieure _____ | 35 |
| Tableau 11 : Scénarios d'adaptation comprenant une réduction des SIDC de 10 % sur l'ensemble du bassin de drainage, l'ajout du bassin de rétention 410 et le redimensionnement d'un seul tronçon. _____ | 37 |
| Tableau 12 : Scénarios d'adaptation comprenant une réduction de 10 % des SIDC sur l'ensemble du réseau de drainage, l'ajout du bassin de rétention de surface 410 et le redimensionnement de plusieurs tronçons de conduites. _____ | 40 |
| Tableau 13 : Variation relative (%) des indices hydraulique, infiltration, usure et surverse des scénarios A1 et B3 pour les périodes de récurrence de 2 ans et de 10 ans ainsi que le coût total des deux scénarios. _____ | 44 |

ANNEXES

- Annexe A :** Cartes du territoire et des tronçons à l'étude (tiré de Mailhot, 2009).
- Annexe B :** Coût unitaire de capacité (\$/m³) des aménagements de gestion ou de réduction des apports (tiré de BPR, 2008).
- Annexe C :** Coût de remplacement de conduites de différents diamètres (tiré de BPR, 2008).
- Annexe D :** Variation relative (%) de l'indice hydraulique pour chacun des tronçons, pour des événements pluvieux de périodes de récurrence de 2 ans et de 10 ans.

1 CONTEXTE – PERTINENCE DE L'ÉTUDE POUR LES MUNICIPALITÉS

Un consensus scientifique significatif existe selon lequel les changements climatiques sont inéluctables et qu'il faudra s'adapter aux inévitables conséquences des changements amorcés. En plus des augmentations de température prévues, les changements climatiques affecteront vraisemblablement d'autres paramètres, dont le régime des précipitations. Les résultats d'une étude menée par une équipe de l'INRS-ETE, en collaboration avec Ouranos (Mailhot *et al.*, 2004), indiquent que le patron d'occurrence (fréquence-intensité) des événements de pluie de différentes périodes de récurrence pourrait changer significativement. Par exemple, l'intensité des pluies maximales annuelles dont la récurrence est en moyenne de deux ans pourrait augmenter de l'ordre de 10 % à 20 % à l'horizon de 2041-2070.

Les infrastructures pour gérer les eaux pluviales en milieu urbain sont conçues sur la base de données climatiques historiques, en fonction de niveaux de risque jugés acceptables et de coûts considérés comme réalistes. Ces critères sont remis en question à la lumière des changements climatiques. La durée de vie des infrastructures, souvent de plusieurs décennies, expose ces dernières non seulement à des conditions pour lesquelles elles n'ont pas été conçues, mais les rend également difficiles à adapter au long de leur cycle de vie.

Au cours des dernières années, des événements de pluie intense en période estivale ont causé des inondations importantes dans de nombreuses municipalités ainsi que des refoulements d'égout et des surverses dans le milieu naturel et ont engendré des coûts économiques, sociaux et environnementaux significatifs, tant pour l'administration municipale que pour la société. Les conséquences pour les citoyens se traduisent par des dommages aux propriétés et aux biens privés, ayant des conséquences sur le coût, voire sur la possibilité de souscrire des assurances dans certains secteurs. Les réclamations des compagnies d'assurance et des citoyens interpellent la responsabilité des municipalités et des élus quant à l'impact des changements climatiques, responsabilité elle-même liée aux notions suivantes :

- un événement exceptionnel;
- des moyens raisonnables de prévenir les risques climatiques;
- des délais raisonnables pour agir.

Par ailleurs, le contexte de renouvellement des infrastructures constitue une occasion formidable pour considérer les changements climatiques. Plusieurs études avancent que l'adaptation aux changements climatiques passera par une série de mesures. Cependant, les orientations stratégiques relatives au niveau d'investissement acceptable supposent un débat public préalable sur le partage des risques en drainage urbain et la répartition des efforts de mitigation. Ce débat entre les parties prenantes ne peut se faire sainement sans une documentation approfondie des risques et des scénarios d'adaptation.

L'étude résumée dans le présent rapport se veut une contribution objective pour alimenter ce débat sur le plan technique et économique. Les objectifs du projet sont présentés au chapitre 2. Ils sont suivis d'une courte mise en contexte au chapitre 3 afin de montrer l'évolution dans les diverses approches de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain au cours des 50 dernières années. Au chapitre 4, sont sommairement énumérées les différentes mesures de gestion des eaux pluviales, leurs principales caractéristiques et leurs conditions d'implantation. Les résultats de l'analyse économique des mesures d'adaptation sont présentés au chapitre 5, tandis que la comparaison de scénarios combinant ces mesures et l'analyse des coûts de ces scénarios sont résumées aux chapitres 6 et 7 respectivement. Le rapport se termine par une synthèse des principales orientations retenues pour adapter le drainage urbain aux pluies du futur, incluant quelques-uns des défis méthodologiques associés à cette recherche et les approfondissements nécessaires. Les résultats et la méthodologie qui sous-tendent ces analyses des mesures d'adaptation pourront servir de guide pour l'application à des secteurs urbains de nature similaire à celui considéré dans la présente étude.

2 OBJECTIFS ET LIVRABLES DE L'ÉTUDE

2.1 Objectifs

Les travaux de recherche conjoints d'Ouranos et de l'INRS sur l'évolution possible des régimes de pluie (Mailhot *et al.*, 2006) ont permis d'alerter le milieu municipal de l'impact potentiel des changements climatiques sur le drainage urbain. Parallèlement, les municipalités d'Amérique du Nord ont subi plusieurs orages caractérisés par des précipitations exceptionnelles au cours de la dernière décennie. Ceux-ci se sont traduits, pour les citoyens, par une augmentation des refoulements d'égout, des inondations causées par le ruissellement de surface et des « auto-inondations » produites par les toits plats ou autres conditions, menant en fin de compte à une augmentation substantielle des primes d'assurance pour des dégâts d'eau.

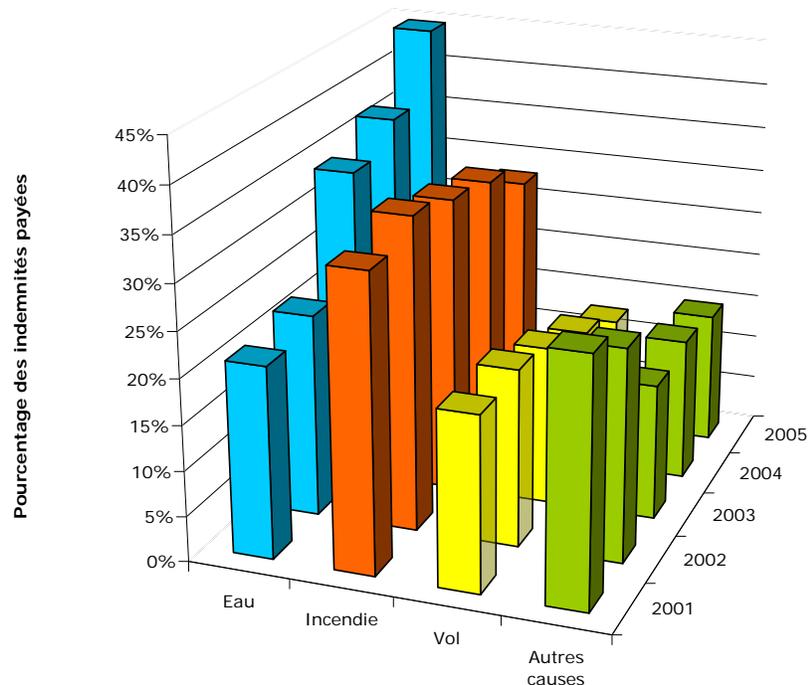


Figure 1 : Pourcentage des indemnités payées selon le type de sinistre, Bureau d'assurance du Canada (2006). Les données proviennent d'assureurs totalisant 83 % du volume des polices souscrites en assurance habitation (biens des particuliers) pour l'année 2005.

Au vu de ces faits et de ces avertissements, la Ville de Montréal, l'INRS et Ouranos ont voulu :

- 1. Évaluer l'impact de l'intensification potentielle des précipitations sur un réseau de drainage urbain réel;**
- 2. Évaluer techniquement et économiquement différents scénarios d'adaptation.**

Ces deux évaluations ont été réalisées pour des pluies sur l'horizon de temps de 50 ans.

Pour évaluer l'impact des changements climatiques sur la gestion des eaux pluviales, l'équipe de recherche de l'INRS a développé quatre indices :

- **Le risque de refoulement d'égout (en mètres);**
- **Le volume des surverses (en mètres cubes);**
- **Le volume d'eau acheminé à la station d'épuration (en mètres cubes);**
- **Le volume d'eau infiltré dans le sol (en mètres cubes).**

Pour évaluer les scénarios d'adaptation, les mesures de gestion des eaux pluviales ont été groupées en trois familles :

- **La diminution des apports d'eau dans le réseau par la gestion des surfaces drainantes;**
- **La rétention des eaux de pluie (en surface ou sous terre);**
- **Le redimensionnement des conduites.**

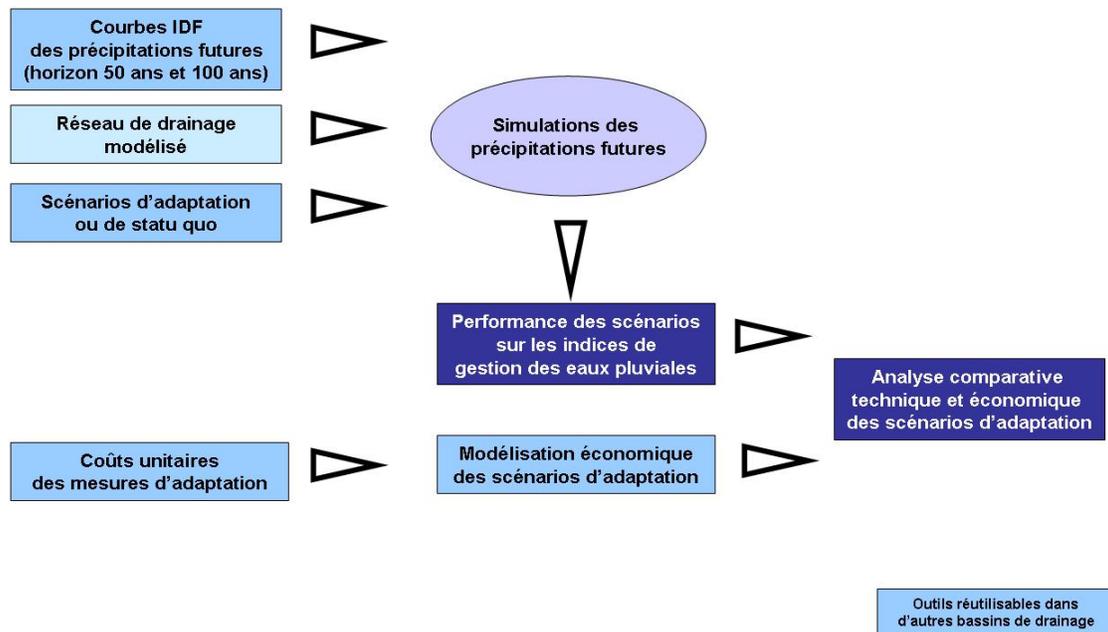


Figure 2 : Démarche d'ensemble de l'étude.

2.2 Précédents livrables

L'étude a été décomposée en cinq livrables : quatre livrables intermédiaires et un livrable de synthèse comprenant l'analyse économique. Le présent rapport constitue le dernier livrable. Les quatre livrables intermédiaires faisant partie intégrante de l'étude sont les suivants :

- Adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec : revue de littérature et analyse critique des mesures de contrôle à la source (Mailhot *et al.*, 2008).
- Évaluation des coûts unitaires des mesures d'adaptation aux changements climatiques en drainage urbain (BPR, 2008).
- Adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec : comparaison de diverses stratégies d'adaptation pour un secteur de Montréal (Mailhot *et al.*, 2009).
- Analyse économique de l'adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec : comparaison de diverses stratégies d'adaptation pour un secteur de Montréal (Desjarlais et Larrivée, 2010).

Ces rapports ont permis aux partenaires de documenter techniquement les pratiques de gestion optimales des eaux pluviales, à la fois anciennes dans leurs concepts, mais dont l'implantation en milieu urbain dense reste novatrice, avec l'objectif de considérer de façon rationnelle les difficultés de leur mise en œuvre et leur efficacité.

Enfin, l'étude comprend une série de matrices permettant l'analyse technico-économique des différents scénarios d'adaptation. Ce modèle économique est à la fois assez souple et assez robuste pour être adapté à d'autres bassins de drainage au Québec. Il constitue un outil d'aide à la décision, en permettant la comparaison des coûts d'investissement et des indices de gestion des eaux pluviales à l'impact du *statu quo*, et ce, pour les différentes stratégies d'adaptation.

3 FONCTIONS DU SYSTÈME DE DRAINAGE DANS LA GESTION DU CYCLE DE L'EAU

Historiquement, les réseaux de drainage ont été mis en place dans les grandes villes pour évacuer les eaux sanitaires et pluviales – et leur charge pathogène – en aval des grands bassins de population et des zones d'habitation.

Au Québec, le programme d'assainissement des eaux mené dans les années 1980 a permis de compléter les réseaux de collecte municipaux et de doter les villes de stations d'épuration. L'assainissement des eaux usées municipales a ainsi protégé les milieux naturels et la qualité des sources d'eau des usines de filtration des villes en aval des émissaires. Les pratiques de conception des réseaux consistaient alors à collecter et à évacuer les eaux sous terre le plus rapidement possible, le dimensionnement et la gestion des réseaux étant basés sur la gestion quantitative des débits de pointe.



Zone urbaine fortement minéralisée à Montréal.

Ainsi, le niveau de service d'un réseau a été communément défini comme la récurrence de la pluie que le réseau peut capter et drainer sans refoulement ou débordement. Compte tenu de la difficulté à capter et à drainer toutes les eaux de vastes territoires en extension, la gestion des eaux pluviales a ensuite intégré la qualité des eaux et les systèmes de drainage séparatifs. Il s'agissait alors de conserver un niveau de service acceptable sans surdimensionner les usines d'assainissement.

Toutefois, cette philosophie de gestion des eaux limitée à la gestion de réseaux a mené à la minéralisation à grande échelle du milieu urbain, parfois à près de 100 %, générant des problèmes :

- de capacité des réseaux en place (surverses compromettant les usages en rive);
- d'érosion et de débordement des rivières à l'occasion du dégel et de fortes pluies;
- d'îlots de chaleur;
- de qualité des milieux de vie.

Compte tenu de ces conséquences, les valeurs d'usage de l'eau, pour la végétation urbaine, les sols ou encore la qualité des milieux de vie, ont commencé à être documentées, amenant une dimension d'aménagement urbain quasi sociale à la gestion du cycle de l'eau. La gestion de l'eau doit désormais interagir avec le maintien de la biodiversité,



l'aménagement urbain, la qualité des milieux de vie, l'éducation environnementale des populations à qui sont livrées les infrastructures vertes.

À partir de ce bref historique, il apparaît que l'évaluation de la performance d'un réseau devrait considérer :

- la salubrité publique;
- la protection des biens et des personnes contre les inondations et les refoulements;
- la protection des milieux hydriques (aux points de rejet des effluents);
- le maintien de la qualité de l'eau en rive (pour les usages) et en rivière (source d'eau des usines de filtration en aval);
- l'amélioration de la qualité de vie et du cadre de vie.

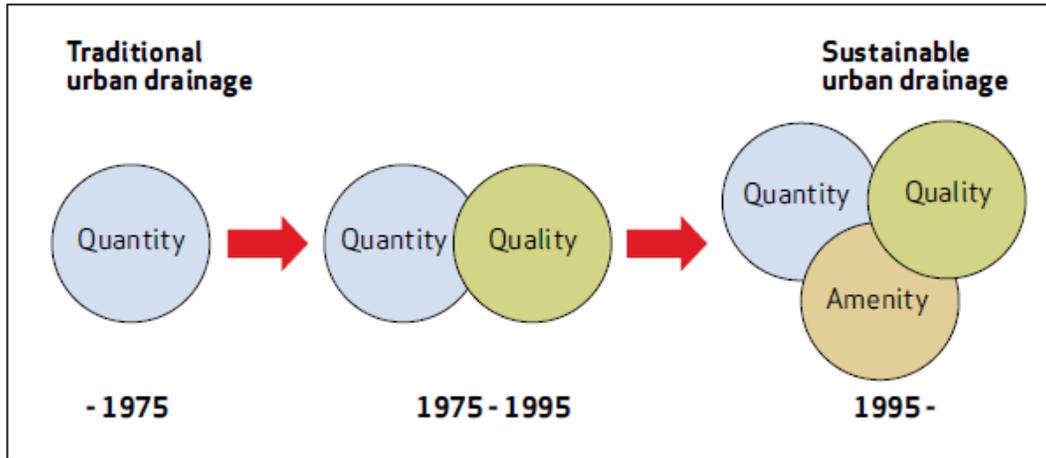


Figure 3 : Évolution historique de la gestion technique des réseaux de collecte vers une gestion des systèmes de drainage. Tirée de *Blue-green fingerprints in the city of Malmö, Sweden* (Stahre, 2008).



Cette nouvelle approche requiert une réintégration de l'eau, de sa présence, dans le paysage urbain et la culture des habitants en milieu urbain. Par contre, elle permet d'envisager l'eau non plus seulement comme un vecteur d'impact des changements climatiques, mais aussi comme un vecteur d'adaptation pour verdir et refroidir le cœur des villes bétonnées. La gestion du drainage inclut désormais les utilisateurs du réseau, et les mesures de gestion de l'eau peuvent aussi s'étendre au domaine privé. Ce dernier aspect constitue un défi pour le secteur public dont l'action – historiquement – s'est plutôt limitée à la voie publique. Il ne suffit plus d'augmenter l'offre de service, le développement d'une gestion de la demande en service devient nécessaire. Les indicateurs de performance établis et présentés sont issus de la volonté de prendre en compte ces nouvelles fonctions attendues d'un réseau de drainage intégré à la gestion du cycle de l'eau.

4 MESURES OPTIMALES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES : SYNTHÈSE DE LA REVUE DE LA LITTÉRATURE

La gestion des eaux pluviales tend de plus en plus vers une approche qui tient compte à la fois des volumes de ruissellement et de la qualité de ces eaux. À ce titre, une large gamme de mesures, communément appelées pratiques de gestion optimales (PGO), a été mise au point afin d'assurer un contrôle quantitatif et qualitatif des eaux de ruissellement et ainsi réduire l'impact du ruissellement urbain sur les cours d'eau récepteurs. La mise en place de pratiques structurelles favorise le contrôle à la source des eaux pluviales et a pour but de préserver ou de reproduire, autant qu'il est possible de le faire, le régime hydrologique naturel en favorisant la rétention des eaux de ruissellement, l'infiltration et l'évaporation. Il est important de rappeler que, dans le contexte de ce projet, seules les PGO dites structurelles, soit nécessitant des ouvrages de régulation des réseaux de drainage, ont été considérées.

Dans une approche intégrée des eaux pluviales où tous les types d'événements pluvieux sont considérés, les PGO sont certes des solutions envisageables, mais elles doivent être combinées à d'autres mesures d'adaptation. En effet, les PGO sont généralement utilisées pour gérer les eaux de ruissellement provenant d'événements pluvieux mineurs dont les périodes de récurrence sont inférieures à cinq ans (Stephens *et al.*, 2002). Ce type d'événements est d'ailleurs responsable en grande partie du volume annuel de précipitations notamment à Montréal, à la station météorologique de Dorval, où les pluies journalières de moins de 25 mm comptent pour 77 % du volume total annuel de précipitations. Ainsi, les PGO présentent un intérêt certain en ce qui a trait à la gestion quantitative et qualitative des eaux de ruissellement. Toutefois, il convient de mettre en place des mesures pour la gestion des événements pluvieux plus intenses, même s'ils sont plus rares, puisque ceux-ci risquent de provoquer inondations et refoulements en milieu urbain. Parmi ces mesures, mentionnons l'ajout d'ouvrages de rétention des eaux (de surface ou souterrains).

De grandes variétés de PGO permettent de répondre à divers objectifs et font intervenir de multiples processus (infiltration, rétention et évapotranspiration) de traitement (sédimentation, flottation, filtration, absorption, dégradation et captage biologique) de ces eaux.

Les performances des PGO sont intimement liées aux caractéristiques de l'aménagement en question et au site d'implantation (capacités d'infiltration, utilisation du sol, pente, etc.). En matière de réduction des volumes de ruissellement, plusieurs PGO tels les systèmes de biorétention, les tranchées d'infiltration et les dépressions végétalisées parviennent à réduire considérablement les volumes de ruissellement et ont, par le fait même, un impact notable sur la diminution des débits de pointe pour des événements pluvieux mineurs. Quant à la réduction des charges polluantes, les PGO permettent de réduire les charges polluantes des eaux de ruissellement que ce soit pour les solides en suspension, les métaux lourds ou les nutriments.

Certaines conditions doivent être respectées au moment de la mise en place de PGO. Le Tableau 1 présente un résumé de ces conditions pour les principaux types de PGO.

- Pour les PGO où l'infiltration des eaux de ruissellement est un processus majeur, une distance minimale doit séparer le fond de l'aménagement de la surface de la nappe phréatique. Selon les références consultées, cette distance doit être minimalement de 60 cm et peut aller jusqu'à 120 cm dans le cas des tranchées d'infiltration. La distance entre le fond de l'aménagement et la nappe phréatique est importante pour limiter les risques de contamination.
- Une distance minimale doit séparer le fond de l'aménagement de la roche mère, cette fois afin d'assurer que les eaux de ruissellement puissent s'infiltrer efficacement.
- Pour préserver les capacités d'infiltration de ces PGO, il est nécessaire de limiter les apports sédimentaires pour éviter les risques de colmatage. Ainsi, la superficie à drainer ne doit pas dépasser, en règle générale, deux hectares (20 000 m²) dans le cas des systèmes de biorétention, des tranchées d'infiltration et des dépressions végétalisées.

Une analyse et une évaluation du site environnant sont donc capitales avant la mise en place de PGO.

Tableau 1 : Caractéristiques et contraintes de sites d'implantation des PGO¹

| Type de PGO | Secteur potentiel d'application | | | | | Distance minimale* (cm) | | Surface drainée* (hectares) |
|--|---------------------------------|-----------------|---------------|------------|------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------|
| | Résidentiel | | | Industriel | Commercial | Roche mère | Nappe phréatique | |
| | Faible densité | Densité moyenne | Forte densité | | | | | |
| Système de bio-rétention | O (1) | O (1) | O (2) | O (1) | O (2) | 60 (1) 185 (3) | 60 (2) 90 (3) | < 2 (2,3) |
| Aménagement avec sol absorbant | O (9) | O (9) | N (9) | O (9) | O (9) | ND | ND | NA |
| Système de collecte des eaux des toits | O (1) | O (1) | O (2) | O (1) | O (1) | NA | NA | NA |
| Toit vert | O (9) | O (9) | O (9) | O (3,9) | O (9) | NA | NA | NA |
| Tranchée d'infiltration | O (1,2) | O (1,2) | O (1,2) | O (1) | O (2) | 91 (18) 122 (3) | 90 (18) 120 (2) | < 0,8 (18) < 2 (2) |
| Dépression végétalisée | O (1) | O (1) | N (1,2) | N (1) | O (1) | 90 (3) | 60 (2) | < 2 (2) < 4 (1) < 6 (3) |

Note : O = Oui; N = Non; ND = Information non disponible; NA = Ne s'applique pas.

* Les distances et surfaces étant dans plusieurs documents exprimées en unités anglaises (pouces, pieds, acres) et compte tenu du caractère très approximatif de ces estimés, les équivalents métriques présentés dans ce tableau ne correspondent pas exactement à leurs équivalents en unités anglaises.

¹ Le tableau est tiré de Mailhot 2008, p. 87. Les chiffres entre parenthèses dans le tableau indiquent les références documentaires des types de PGO présentés dans ce rapport.

Il existe également des contraintes reliées aux conditions hivernales (sol gelé, formation de glace et utilisation de sels de déglçage ou d'abrasifs comme le sable). L'utilisation de sable ou de sel dans les zones drainées augmente les risques de colmatage et comporte une diminution des capacités d'infiltration et une croissance des risques de contamination de la nappe phréatique. Dès lors, certaines précautions doivent être prises au moment de la conception des PGO. Citons les mesures de précaution les plus communes :

- La présence d'un drain dans les aménagements, permettant d'assécher les PGO avant les premiers gels hivernaux;
- Une profondeur d'aménagement dépassant la ligne de gel;
- Une augmentation des capacités de stockage;
- L'ajout de zones de prétraitement des eaux de ruissellement.

Pour les systèmes de collecte des eaux provenant des toits, outre certaines contraintes techniques, les considérations juridiques ne sont pas à négliger puisque les aménagements (par exemple les barils de pluie) relèvent du domaine privé et que le consentement des particuliers est alors obligatoire. De plus, afin d'éviter les risques d'inondation dans les propriétés au cours d'événements pluvieux intenses, d'autres

mesures sont à prévoir en cas de trop-plein. Finalement, pour les toits verts, les principales contraintes proviennent du climat hivernal. Il faut en effet s'assurer de la solidité des bâtiments en raison des charges structurales supplémentaires que comporte un toit vert additionné d'eau et de neige. Une étude de cas¹ peut être consultée pour obtenir plus d'information sur la mise en place de toits verts au Québec.

Les coûts d'implantation des PGO varient en fonction de la complexité de l'aménagement, des paramètres de conception et de la nature du site. De façon générale, l'étude de BPR (2008) et les documents consultés montrent que la dépression végétalisée est la mesure la moins coûteuse, suivie de la tranchée d'infiltration, du système de biorétention et du système de collecte des eaux des toits. Cette classification est basée sur une comparaison des coûts de mise en place par mètre cube d'eau capté. Les toits verts se révèlent beaucoup plus dispendieux que toute autre PGO, et leur mise en place ne doit pas se justifier sur la seule base d'une gestion des eaux pluviales. À ces coûts s'ajoutent également les frais d'entretien, notamment pour éviter l'accumulation de sédiments et de débris et faire l'entretien horticole. Il existe malheureusement encore peu de données permettant d'estimer ces frais d'entretien.

¹ Trottier, Antoine. 2008. *Toitures végétales : Implantation des toits verts en milieu institutionnel*, Centre d'écologie urbaine de Montréal, Montréal, Canada
http://www.ecologieurbaine.net/sites/www.ecologieurbaine.net/files/imce/toitures_vegetales_implantation_de_toits_verts_en_milieu_institutionnel_2007.pdf

5 COMPARAISON DES SCÉNARIOS D'ADAPTATION : NIVEAU D'INVESTISSEMENT ET NIVEAU DE SERVICE

5.1 Pluie de conception

Dans le contexte de ce rapport, seulement deux périodes de récurrence sont prises en considération. Il s'agit des périodes de récurrence de 2 ans et de 10 ans. De plus, les analyses se limiteront à un horizon de 50 ans. Ainsi, les résultats qui seront présentés dans les prochaines sections proviennent de simulations où les périodes de récurrence utilisées sont de 3 ans et de 13 ans en climat actuel (voir Mailhot *et al.*, 2009 pour plus d'information sur les pluies de conception retenues et sur les hypothèses d'augmentation d'intensité des événements pluvieux en climat futur). C'est dire qu'au terme de 50 ans, l'intensité d'un événement de période de récurrence de 2 ans ou de 10 ans correspondra respectivement à l'intensité d'un événement de 3 ans et de 13 ans en climat actuel.

La période de récurrence de 2 ans a été retenue puisqu'il est admis que les mesures de gestion ou de réduction des apports sont généralement efficaces pour les événements pluvieux dont la période de récurrence est inférieure à cinq ans (Stephens *et al.*, 2002) ou même à deux ans (Graham *et al.*, 2004). Quant à la période de récurrence de 10 ans, elle a été choisie parce qu'elle est souvent employée pour la conception.

Les périodes de récurrence de 2 ans et de 10 ans sont donc utilisées dans la suite de cet exposé. Le lecteur doit tenir compte qu'ainsi définis, il s'agit d'événements dont les intensités seront associées à des périodes de récurrence de 2 ans et de 10 ans au terme de la période de 50 ans.

5.2 Diminution des apports d'eau par la réduction des surfaces drainantes

La présente section expose la méthodologie employée pour l'analyse de coûts reliés à la mise en place de mesures de gestion ou de réduction des apports. Cette évaluation nécessite plusieurs étapes, qui sont définies à la figure 4. Les prochaines sections décrivent en détail chacune d'entre elles.

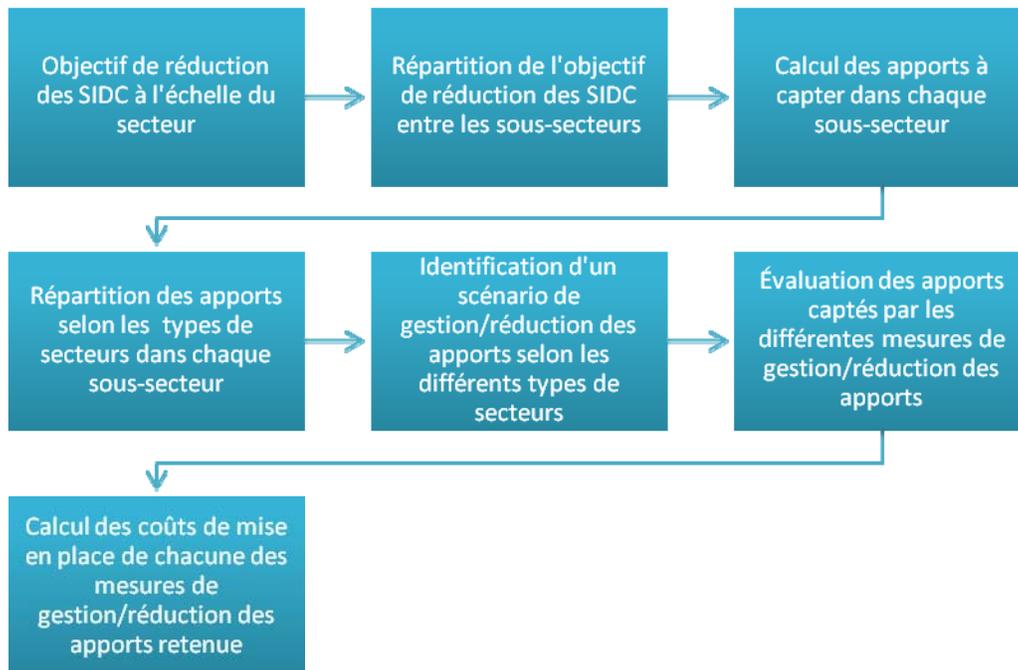


Figure 4 : Étapes de l'analyse des coûts associés à la mise en place de mesures de gestion ou de réduction des apports.

5.2.1 Objectif de réduction des SIDC

La première étape consiste à établir un objectif de réduction des superficies imperméables directement connectées (SIDC) pour l'ensemble du bassin de drainage de la 25^e Avenue (voir l'annexe A pour la localisation du territoire à l'étude). Dans le contexte de ce rapport, des réductions de 5 %, 10 % et 15 % des SIDC, à l'échelle du bassin de drainage, ont été considérées (voir tableau 2).

Tableau 2 : Objectif de réduction des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage et des superficies correspondantes.

| | | | |
|--------------------------------------|---|----|----|
| Objectif de réduction des SIDC (%) | 5 | 10 | 15 |
| Superficie de SIDC à considérer (ha) | 7 | 14 | 21 |

5.2.2 Répartition de l'objectif de réduction des SIDC entre les sous-secteurs

Il s'agit, au cours de cette étape, de répartir les surfaces de réduction des SIDC entre les différents sous-secteurs (voir l'annexe A). Cette répartition est réalisée en fonction de la sensibilité relative de l'indice hydraulique pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans lorsqu'une réduction de 5 % des SIDC est appliquée à chaque sous-secteur individuellement (tableau 3).

Tableau 3 : Répartition (%) de réduction des SIDC par sous-secteurs en fonction de la sensibilité relative de l'indice hydraulique pour une pluie de période de récurrence de 2 ans.

| Sous-secteur | Indice hydraulique après réduction de 5 % des SIDC dans chaque sous-secteur (m) | Réduction relative de l'indice hydraulique (%) |
|--------------|---|--|
| 1 | 313 | 4 |
| 2 | 209 | 16 |
| 3 | 323 | 3 |
| 4 | 228 | 14 |
| 5 | 334 | 2 |
| 6 | 282 | 8 |
| 7 | 337 | 2 |
| 8 | 279 | 8 |
| 9 | 198 | 18 |
| 10 | 313 | 4 |
| 11 | 314 | 4 |
| 12 | 340 | 1 |
| 13 | 283 | 8 |
| 14 | 318 | 4 |
| 15 | 335 | 2 |
| Total | | 100 |

Ainsi, les sous-secteurs qui réduisent le plus l'indice hydraulique pour cet événement pluvieux voient leurs SIDC réduites davantage que les sous-secteurs dont l'impact sur l'indice hydraulique est plus faible (Tableau 4). Il est important de préciser qu'une limite de 20 % de réduction des SIDC pour tous les sous-secteurs a été retenue. Une réduction plus importante des SIDC sur un seul sous-secteur a été jugée difficilement réalisable.

Tableau 4 : Pourcentage de réduction des SIDC dans les sous-secteurs selon des objectifs de réduction des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage de 5 %, 10 % et 15 %.

| Sous-secteur | Pourcentage de réduction des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage (%) | | |
|--------------|--|----|----|
| | 5 | 10 | 15 |
| 1 | 5 | 15 | 20 |
| 2 | 19 | 20 | 20 |
| 3 | 4 | 12 | 20 |
| 4 | 13 | 20 | 20 |
| 5 | 2 | 7 | 20 |
| 6 | 7 | 20 | 20 |
| 7 | 2 | 5 | 15 |
| 8 | 5 | 14 | 20 |
| 9 | 19 | 20 | 20 |
| 10 | 4 | 13 | 20 |
| 11 | 4 | 13 | 20 |
| 12 | 2 | 5 | 14 |
| 13 | 9 | 20 | 20 |
| 14 | 5 | 16 | 20 |
| 15 | 2 | 7 | 20 |

5.2.3 Calcul des volumes additionnels à capter pour chaque sous-secteur

La troisième étape consiste à calculer le volume des apports produits par les SIDC qui seront soustraites des SIDC totales de chaque sous-secteur. À partir de l'objectif de réduction des SIDC de chacun des sous-secteurs, de leurs SIDC totales et d'une hauteur de pluie donnée (25 mm pour un événement de période de récurrence de 2 ans et d'une durée d'une heure), il est possible d'obtenir le volume d'eau qui devra être capté par les ouvrages de gestion ou de réduction des apports (Tableau 5). Ce calcul se base sur l'hypothèse que la gestion des apports se fait en fonction d'une pluie de

période de récurrence de 2 ans à l'horizon de 50 ans, c'est-à-dire d'une pluie de période de récurrence de 3 ans en climat historique. Par exemple, pour une réduction de 10 % des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage, le sous-secteur 1 voit ses SIDC réduites de 15 %. Puisque la surface totale des SIDC pour ce sous-secteur est de 62 526 m², il sera nécessaire de capter les eaux de ruissellement s'abattant sur une zone imperméable de 9 379 m². Pour une pluie de période de récurrence de 2 ans et d'une durée d'une heure, générant 25,4 mm de pluie, les apports à gérer pour le sous-secteur 1 seulement seront de l'ordre de 238 m³.

Tableau 5 : Réduction des apports (m³) à considérer dans les sous-secteurs selon des scénarios de réduction des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage de 5 %, 10 % et 15 %.

| Sous-secteur | Objectif de réduction des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage (%) | | |
|-------------------------------|---|-------------|-------------|
| | 5 | 10 | 15 |
| 1 | 81 | 238 | 317 |
| 2 | 295 | 315 | 315 |
| 3 | 60 | 176 | 303 |
| 4 | 257 | 381 | 381 |
| 5 | 38 | 112 | 319 |
| 6 | 150 | 406 | 406 |
| 7 | 30 | 89 | 263 |
| 8 | 153 | 451 | 635 |
| 9 | 318 | 338 | 338 |
| 10 | 81 | 239 | 362 |
| 11 | 78 | 228 | 364 |
| 12 | 24 | 71 | 210 |
| 13 | 145 | 314 | 314 |
| 14 | 72 | 210 | 266 |
| 15 | 35 | 102 | 286 |
| TOTAUX (m³) | 1817 | 3670 | 5079 |

5.2.4 Répartition des volumes à capter selon les types de SIDC

Cette étape est basée sur l'hypothèse voulant que les mesures de gestion ou de réduction des apports à mettre en place diffèrent selon les types de SIDC et, conséquemment, que le train de mesures à mettre en place dans chacun des sous-secteurs soit choisi en fonction des types de SIDC qui s'y trouvent. Le tableau 6 présente les types de SIDC considérés (Asseau-BPR, 1997) et donne la répartition en pourcentage de ceux-ci dans chaque sous-secteur. On suppose que les volumes à capter dans chaque sous-secteur sont répartis uniformément en fonction des types de SIDC présents.

Tableau 6 : Types de SIDC présents dans le bassin de la 25^e Avenue.

| Abréviation | Classe d'occupation du territoire |
|-------------|-----------------------------------|
| H1 | Habitation unifamiliale |
| H2 | Duplex |
| H3 | Maison en rangée et triplex |
| H5 | Condominium étagé |
| H6 | Habitation multifamiliale |
| Ind1 | Industriel type 1 |
| Ind2 | Industriel type 2 |
| C | Commercial |
| Inst | Institutionnel |
| Voirie | Voirie |

Ainsi, le tableau 7 correspond aussi aux pourcentages des volumes additionnels à capter dans chaque sous-secteur, selon les types de SIDC.

Tableau 7 : Répartition des types de SIDC dans chaque sous-secteur (%), les cellules en gris indiquent que ce type est absent du sous-secteur.

| Sous-secteur | Répartition des types de SIDC dans chaque sous-secteur | | | | | | | | | |
|--------------|--|----|----|----|----|------|------|----|------|--------|
| | H1 | H2 | H3 | H5 | H6 | Ind1 | Ind2 | C | Inst | Voirie |
| 1 | 1 | 67 | | 31 | | | | | | |
| 2 | 73 | 3 | 24 | | | | | | | |
| 3 | 67 | | | 2 | 31 | | | | | |
| 4 | 33 | 9 | 17 | 5 | 32 | | | | 4 | |
| 5 | 9 | 61 | 17 | 8 | | | | 5 | | |
| 6 | 7 | 9 | 18 | 13 | 17 | 17 | | 9 | | 10 |
| 7 | 4 | 20 | 24 | 46 | | | | 5 | | |
| 8 | | | | | | 11 | 89 | | | |
| 9 | 33 | 17 | | 13 | 6 | 27 | | 3 | | |
| 10 | 19 | 27 | | 24 | | | | 29 | | |
| 11 | 5 | 30 | 4 | 32 | | | | 24 | 4 | |
| 12 | 57 | 21 | 4 | 7 | | | | | 11 | |
| 13 | 56 | 15 | 5 | | 24 | | | | | |
| 14 | 80 | 20 | | | | | | | | |
| 15 | 65 | 17 | 4 | 4 | | | | | 11 | |

5.2.5 Mesures de gestion ou de réduction des apports à mettre en place et évaluation des volumes à capter

La cinquième étape consiste à déterminer les mesures de gestion ou de réduction des apports présentes pour chaque type de secteur et d'établir leur niveau d'utilisation (tableau 8). Pour le sous-secteur 1, par exemple, 5 % des apports provenant des types H1 et H2 seront dirigés vers des bassins de biorétention de type 1, alors que 45 % iront vers des tranchées d'infiltration de type 1 et 50 % seront gérés par des barils de pluie de type 1 et des débranchements de gouttières. Pour un secteur de type H5, une plus grande proportion des apports sera dirigée vers des bassins de biorétention de type 2 (40 %) et 10 % des apports seront gérés par des barils de pluie de type 2 et des débranchements de gouttières, alors que des tranchées d'infiltration de type 2 capteront les apports restants (50 %).

Pour les SIDC de types H1, H2 et H3, les barils de pluie de 200 litres et le débranchement de gouttières ont été privilégiés en raison de leur facilité de mise en place. Une grande part des eaux de ruissellement est également captée par des puits d'infiltration dont les coûts sont peu élevés (tranchées d'infiltration de type 1) et, dans une moindre mesure, par des jardins de pluie qui assurent un contrôle des volumes de ruissellement et de la qualité des eaux, mais dont les coûts sont plus élevés (bassin de biorétention de type 1) (BPR, 2008). Quant aux SIDC de types H5 et H6, en raison de la présence de plus grandes surfaces imperméables (stationnements), la plus grande part des volumes de ruissellement est captée par des tranchées d'infiltration de type 2.

Les bassins de biorétention de type 2 ont aussi été sélectionnés pour capter une large part des volumes de ruissellement. Ces derniers répondent à des objectifs multiples et peuvent jouer un rôle esthétique important à des coûts relativement peu élevés (BPR, 2008). Ils représentent la mesure principale employée pour capter les volumes de ruissellement pour les SIDC de types Ind1, Ind2 et voirie. Des dépressions végétalisées de type 2 sont également utilisées pour ces types de SIDC. Cette mesure favorise l'infiltration et assure un prétraitement des eaux de ruissellement avant d'atteindre les bassins de biorétention (MSSC, 2008). Pour les SIDC des zones commerciales, les volumes de ruissellement sont partagés entre des bassins de biorétention de type 2, en partie pour des raisons esthétiques et aussi puisqu'ils permettent de répondre à plusieurs objectifs de gestion, et des tranchées d'infiltration de type 2 qui sont moins contraignantes sur le plan de l'espace occupé.

Finalement, pour les SIDC de type institutionnel, la totalité des volumes de ruissellement est captée par des tranchées d'infiltration de type 2, puisque les eaux à recueillir proviennent essentiellement de grandes surfaces imperméables (aires de jeu et stationnements).

Tableau 8 : Répartition (%) des volumes d'eau de ruissellement à capter selon les mesures de gestion ou de réduction des apports pour chaque type de secteur (pour connaître les différents types d'aménagements, voir BPR, 2008).

| Mesure de gestion ou de réduction des apports | | Bassin de rétention de surface | | | Bassin de biorétention | | Baril de pluie et débranchement de gouttières | | | Tranchée d'infiltration | | Dépression végétalisée | |
|---|--------|--------------------------------|---|---|------------------------|----|---|----|---|-------------------------|-----|------------------------|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Type | | | | | | | | | | | | | |
| Occupation du territoire | H1 | | | | 5 | | 50 | | | 45 | | | |
| | H2 | | | | 5 | | 50 | | | 45 | | | |
| | H3 | | | | 5 | | 50 | | | 45 | | | |
| | H5 | | | | | 40 | | 10 | | | 50 | | |
| | H6 | | | | | 40 | | | | | 60 | | |
| | Ind1 | | | | | 70 | | | | | | | 30 |
| | Ind2 | | | | | 70 | | | | | | | 30 |
| | C | | | | | 80 | | | | | 20 | | |
| | Inst | | | | | | | | | | 100 | | |
| | Voirie | | | | | 70 | | | | | | | 30 |

5.2.6 Calcul des coûts

Finalement, le coût total pour chaque mesure de gestion ou de réduction des apports est calculé à partir des coûts unitaires de capacité des différentes mesures énumérés dans le guide préparé par BPR (BPR, 2008) (annexe B)². L'addition des coûts des différentes mesures de gestion ou de réduction des apports pour chaque type de secteur permet d'obtenir le coût total de mise en place pour chaque sous-secteur. Le tableau 9 donne en exemple le calcul des coûts pour le sous-secteur 1 dans un objectif de réduction de 10 % des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage.

² L'analyse des coûts d'investissement pour les différentes mesures en vue de réduire l'indice hydraulique n'a tenu compte que des coûts d'investissement initiaux et n'a pas inclus de frais d'entretien ni les dépenses ultérieures de réinvestissement ou de l'année où ces dépenses ont été faites (voir Larrivée 2010, p. 13).

Tableau 9 : Coût (\$) de mise en place de mesures de gestion ou de réduction des apports dans le sous-secteur 1 pour un objectif de réduction de 10 % des SIDC sur l'ensemble du bassin.

| Mesure de gestion ou de réduction des apports | Type | Volume de ruissellement à capter (m ³) | Coût unitaire (\$/m ³) | Coût total (\$) |
|---|------|--|------------------------------------|-----------------|
| Bassin de biorétention | 1 | 8 | 2 540 | 20 320 |
| | 2 | 30 | 380 | 11 400 |
| Baril de pluie et débranchement de gouttières | 1 | 82 | 750 | 61 500 |
| | 2 | 7 | 640 | 4 480 |
| Tranchée d'infiltration | 1 | 73 | 625 | 45 625 |
| | 2 | 37 | 525 | 19 425 |
| Coût total pour le secteur (\$) | | | | 162 750 |

Dans cette section, seuls les résultats touchant un événement de période de récurrence de 2 ans seront analysés. La figure 5 montre clairement que, plus l'objectif de réduction des SIDC est grand, plus l'indice hydraulique diminue. Il apparaît également que le coût par unité de réduction de l'indice hydraulique augmente avec l'objectif de réduction des SIDC. Le coût unitaire est d'environ 16 000 \$ pour une réduction de 5 %, il passe à près de 16 600 \$ pour une réduction de 10 % et enfin atteint presque 19 000 \$ pour une réduction de 15 %. Le coût unitaire croît donc très nettement lorsqu'on considère successivement des réductions de 10 % et de 15 % suggérant qu'un objectif de réduction des SIDC à hauteur de 10 % semble offrir un rendement intéressant (à comparer toutefois avec les coûts unitaires de réduction de l'indice hydraulique pour les autres types de mesures).

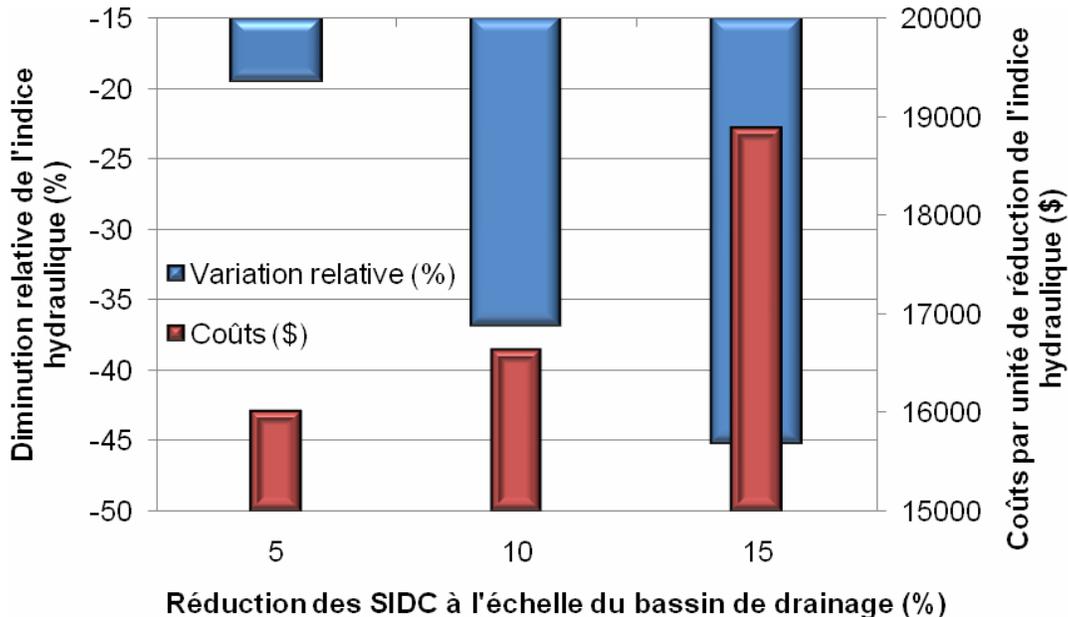


Figure 5 : Diminution relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour une réduction des SIDC sur l'ensemble du bassin de drainage de 5 %, 10 % et 15 % pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans.

5.3 Augmentation des capacités de rétention de surface

L'analyse des coûts liés à l'augmentation des capacités de rétention de surface est basée également sur les coûts unitaires compilés dans le rapport BPR (2008). L'aménagement retenu consiste en bassins de rétention de surface de type 3 dont les coûts unitaires sont évalués à 76 \$/m³. Ce type de bassin de rétention de surface a été choisi en raison de sa capacité maximale qui se rapproche de celle des aménagements considérés dans Mailhot *et al.* (2009). Dans le contexte de ces analyses, seuls les bassins 122, 410 et 420 (voir la dernière carte à l'annexe A) ont été retenus en raison de leur impact plus important sur l'indice hydraulique pour les périodes de récurrence supérieures à 10 ans (Mailhot *et al.*, 2009).

Seuls les résultats pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans (période de récurrence de 13 ans en climat actuel) seront présentés et discutés puisque ces bassins sont généralement utilisés pour la gestion d'événements de ce type. La figure 6 présente les coûts unitaires de réduction de l'indice hydraulique pour la pluie de

période de récurrence de 10 ans. Le bassin 410 présente sans conteste le coût unitaire le plus bas parmi les trois bassins de rétention de surface présentés.

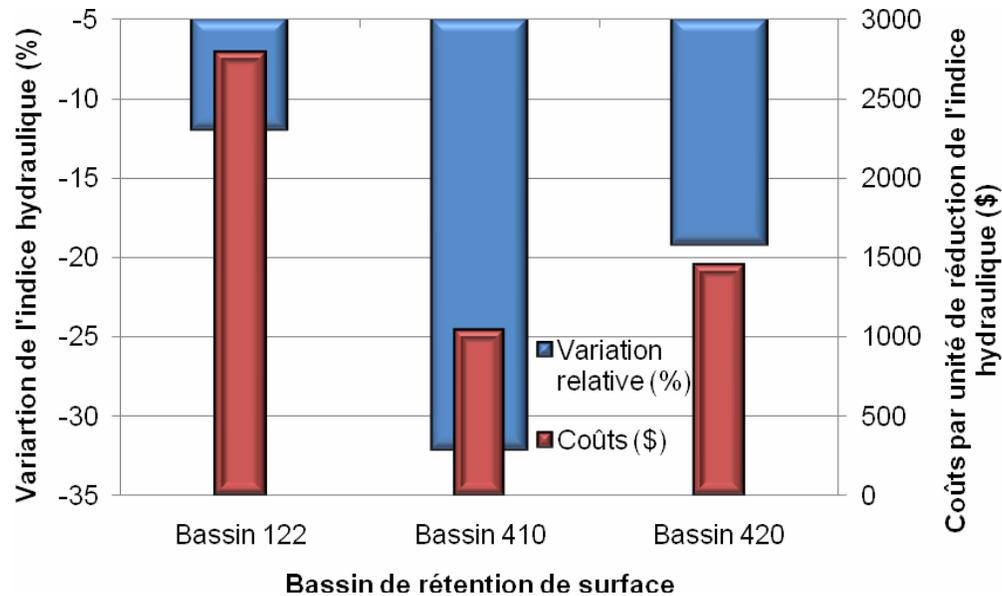


Figure 6 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour les bassins de rétention de surface 122, 410 et 420 pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans.

5.4 Redimensionnement de conduites

L'analyse des coûts associés au redimensionnement de conduites se présente en deux étapes. Il est nécessaire d'abord de déterminer les tronçons de conduites qui, une fois redimensionnés, seront les plus performants en matière de réduction de l'indice hydraulique pour les périodes de récurrence désirées. Cette étape permet de réduire les analyses successives en éliminant les tronçons dont l'impact sur l'indice hydraulique est plus marginal. Par la suite, les coûts pour un redimensionnement à la catégorie supérieure des tronçons doivent être calculés. L'évaluation des coûts associés au redimensionnement de conduites est basée sur les coûts unitaires présentés dans BPR (2008), annexe C.

Le Tableau 10 donne les coûts associés au redimensionnement à la catégorie supérieure de tous les tronçons de conduites. En matière de redimensionnement de conduites, huit tronçons se démarquent dans l'une ou l'autre des périodes de récurrence

considérées (2 ans et 10 ans). Il s'agit des tronçons P1, P2, P3, P4, S1, S7, S8 et S10. Pour la période de récurrence de 2 ans, des réductions significatives s'observent pour les tronçons P1, S10, S8, P2, P4 et P3, alors que les plus fortes réductions pour la période de récurrence de 10 ans sont obtenues à la suite du redimensionnement des tronçons P3, S7, S1 et P1. L'annexe D donne les résultats pour chacun des tronçons.

Les figures 7 et 8 montrent les variations relatives pour chacun des tronçons retenus ainsi que le coût par unité de réduction de l'indice hydraulique pour les événements de périodes de récurrence de 2 ans et de 10 ans respectivement. Pour un événement de période de récurrence de 2 ans, il semble que le tronçon réduisant le plus l'indice hydraulique (P1) ne soit pas nécessairement celui à privilégier, en raison du plus grand diamètre des conduites qui composent les tronçons primaires, le coût par unité de réduction de l'indice hydraulique est plus élevé. En effet, le tronçon S10 donne également d'excellents résultats et son coût par unité de réduction de l'indice hydraulique est plus faible.

Pour un événement de période de récurrence de 10 ans, le tronçon P3 semble être celui à privilégier, suivi de très près par le tronçon S7 pour lequel la réduction de l'indice hydraulique ainsi que le coût par unité de réduction de cet indice est légèrement plus faible. En conclusion, le redimensionnement du tronçon P1 permettrait d'obtenir une réduction non négligeable de l'indice hydraulique, mais le prix de son remplacement est supérieur, en raison de son coût par unité de réduction de l'indice hydraulique considérablement plus élevé que celui des autres tronçons.

**Tableau 10 : Caractéristiques des tronçons et coût (\$) à la suite du redimensionnement des conduites à la catégorie supérieure
(tiré de BPR, 2009)**

| Tronçon | Longueur totale (m) | Diamètre des conduites (mm) | | | | | | | | | | | Coût à la suite de l'augmentation du diamètre à la catégorie supérieure (\$) | |
|---------|---------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-----------|
| | | 450 | 600 | 750 | 900 | 1 050 | 1 200 | 1 350 | 1 500 | 1 650 | 1 800 | 1 950 | | |
| P1 | 1129 | | | | | | | 1 129 | | | | | | 5 423 280 |
| P2 | 759 | | | | 42 | 305 | 292 | 119 | | | | | | 3 110 769 |
| P3 | 689 | | | | | | 515 | | | | 173 | | | 3 106 229 |
| P4 | 948 | | | | | | 948 | | | | | | | 3 889 563 |
| S1 | 530 | | 444 | 85 | | | | | | | | | | 1 424 294 |
| S2-S3 | 879 | | 205 | 674 | | | | | | | | | | 2 569 595 |
| S4 | 485 | | | 485 | | | | | | | | | | 1 461 973 |
| S5 | 430 | | 119 | 312 | | | | | | | | | | 1 251 666 |
| S6 | 473 | | 242 | 231 | | | | | | | | | | 1 330 613 |
| S7 | 494 | | | | | | 494 | | | | | | | 2 025 403 |
| S8 | 600 | | | | | | 600 | | | | | | | 2 460 543 |
| S9 | 720 | | 238 | 482 | | | | | | | | | | 2 076 912 |
| S10 | 570 | | 277 | | | | | 293 | | | | | | 2 135 777 |
| S11 | 524 | | | 384 | | 140 | | | | | | | | 1 710 208 |
| S12 | 382 | | 258 | | 124 | | | | | | | | | 1 077 087 |
| S13 | 362 | 226 | | 136 | | | | | | | | | | 922 424 |
| S14 | 417 | | | 77 | 215 | | 125 | | | | | | | 1 439 120 |
| S15 | 496 | | | 496 | | | | | | | | | | 1 495 198 |

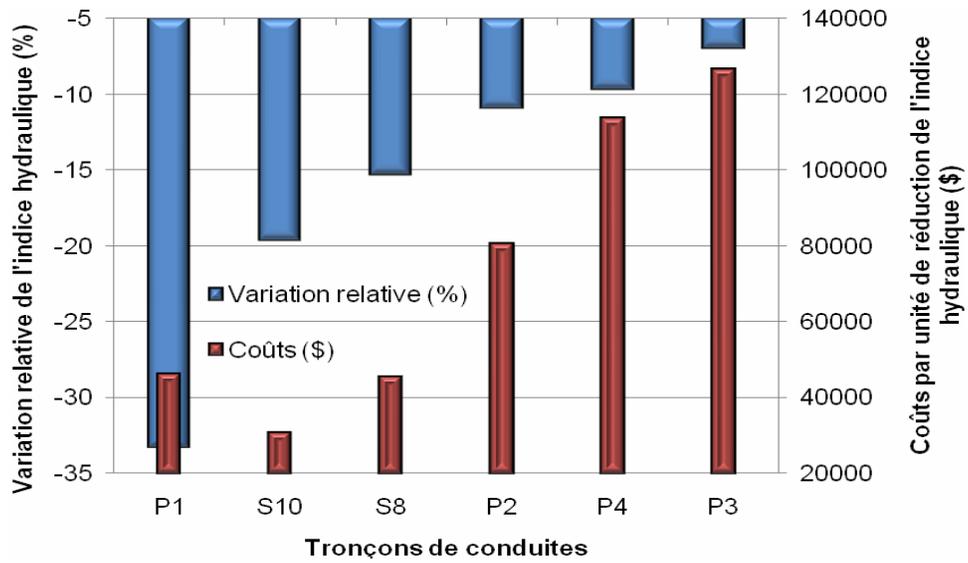


Figure 7 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) pour les tronçons de conduites retenus et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans.

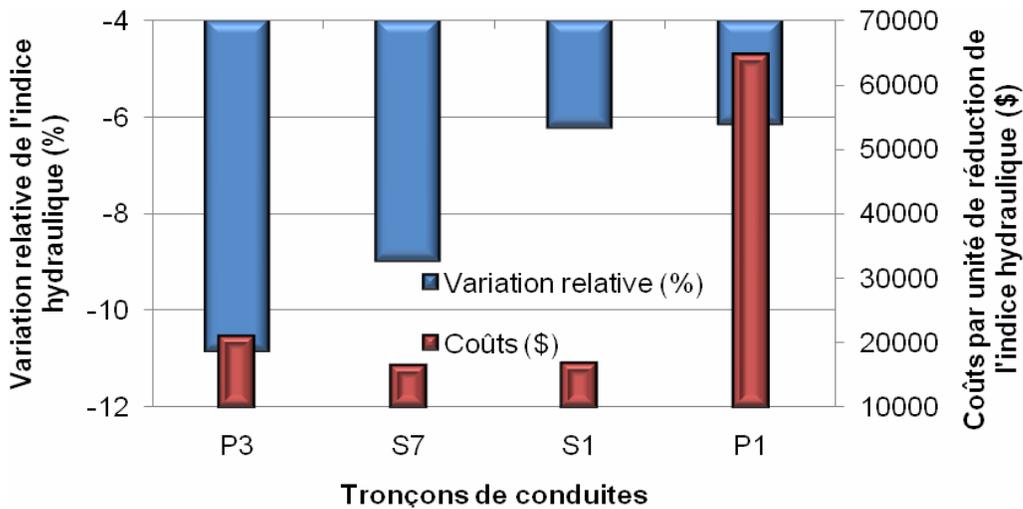


Figure 8 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) pour les tronçons de conduites retenus et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans.

6 ANALYSE DE COÛT DES SCÉNARIOS D'ADAPTATION

L'élaboration de scénarios d'adaptation combinant à la fois des mesures de gestion ou de réduction des apports, des bassins de rétention de surface et des tronçons de conduites redimensionnés est basée sur les résultats précédents. En matière de gestion ou de réduction des apports, puisque l'objectif de réduction des SIDC de 10 % semble être le plus avantageux, il sera conservé dans tous les scénarios qui suivent. Pour les bassins de rétention, seul le bassin 410 sera ajouté aux prochains scénarios. Pour le redimensionnement de conduites, seuls les tronçons P1, P2, P3, P4, S1, S7, S8 et S10 seront considérés.

6.1 Scénarios d'adaptation avec redimensionnement d'un seul tronçon

Le premier bloc de scénarios analysé consiste à réduire de 10 % les SIDC sur l'ensemble du réseau de drainage, à mettre en place le bassin 410 et à ajouter à tour de rôle les tronçons P1, P2, P3, P4, S1, S7, S8 et S10 (Tableau 11).

Tableau 11 : Scénarios d'adaptation comprenant une réduction des SIDC de 10 % sur l'ensemble du bassin de drainage, l'ajout du bassin de rétention 410 et le redimensionnement d'un seul tronçon.

| | | | |
|---|---|---|--|
| P1 <ul style="list-style-type: none">• ↓ 10% SIDC• Bassin 410 | P2 <ul style="list-style-type: none">• ↓ 10% SIDC• Bassin 410 | P3 <ul style="list-style-type: none">• ↓ 10% SIDC• Bassin 410 | P4 <ul style="list-style-type: none">• ↓ 10% SIDC• Bassin 410 |
| S1 <ul style="list-style-type: none">• ↓ 10% SIDC• Bassin 410 | S7 <ul style="list-style-type: none">• ↓ 10% SIDC• Bassin 410 | S8 <ul style="list-style-type: none">• ↓ 10% SIDC• Bassin 410 | S10 <ul style="list-style-type: none">• ↓ 10% SIDC• Bassin 410 |

Les résultats des figures 9 et 10 montrent que, lorsque des tronçons plus performants sont ajoutés à des mesures de gestion ou de réduction des apports et de rétention de surface, l'ordre des tronçons à privilégier peut changer considérablement par rapport à la situation qui ne prévoit que le redimensionnement d'un tronçon.

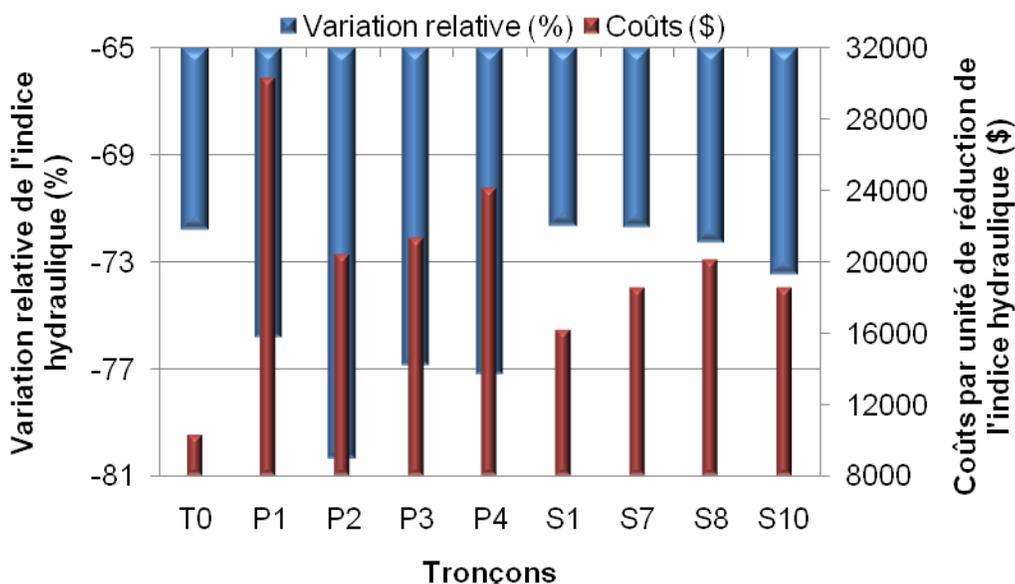


Figure 9 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans.

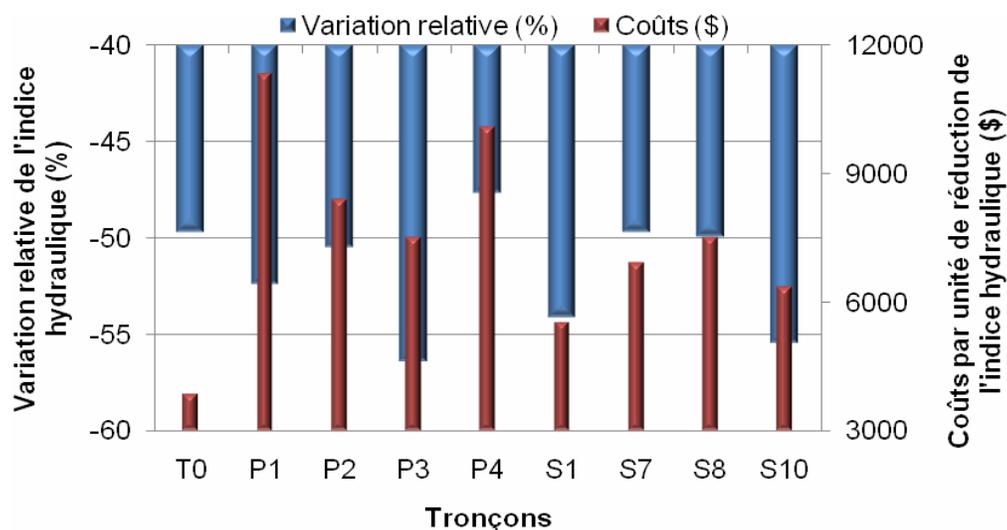


Figure 10 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans.

Pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans, il serait très difficile d'établir quels sont les tronçons à favoriser, les réductions se situant toutes entre 70 % et 80 %. Les tronçons P2, P3 et P4 affichent une plus grande réduction de l'indice hydraulique que le tronçon P1, à des coûts unitaires inférieurs. Il est intéressant de noter

que le redimensionnement du tronçon S1 sans l'ajout d'autres mesures n'a qu'un impact mitigé, soit une réduction de moins de 5 % pour la période de récurrence de 2 ans et de l'ordre de 6 % pour la période de récurrence de 10 ans (voir figure 8). Toutefois, lorsqu'il est combiné aux autres mesures, le redimensionnement permet de réduire l'indice hydraulique à des niveaux comparables aux autres tronçons secondaires, mais à un coût unitaire nettement moindre.

Dans le cas d'un événement de période de récurrence de 10 ans, les tronçons P3, S10 et S1 présentent des performances très intéressantes. Le tronçon S10 apparaît dorénavant comme un tronçon à favoriser pour un événement pluvieux de ce type, alors que le tronçon P1, bien qu'il diminue significativement l'indice hydraulique, présente des coûts unitaires très élevés.

Pour les deux périodes de récurrence, il est intéressant de noter que le scénario où aucun tronçon de conduites n'est redimensionné (T0) peut être avantageux comparativement à bien d'autres scénarios en matière de coûts et de bénéfices. Ce scénario permet d'obtenir une réduction de l'indice hydraulique considérable pour les deux périodes de récurrence à un coût moindre que les autres scénarios puisque le coût de remplacement des conduites est très élevé. Toutefois, pour chacune des périodes de récurrence, l'ajout de certains tronçons de conduites redimensionnés permet de réduire de façon substantielle l'indice hydraulique en comparaison avec le scénario T0. Ainsi, il pourrait être intéressant de remplacer le tronçon P2, puisqu'il réduit significativement l'indice hydraulique à un coût unitaire certes supérieur au scénario T0, mais comparable aux autres scénarios de redimensionnement. Ce constat s'applique également pour la période de récurrence de 10 ans où, cette fois, le redimensionnement des tronçons S1 et S10 semble le plus avantageux.

Dans tous les cas, les SIDC sont réduites de 10 % sur l'ensemble du réseau de drainage et le bassin 410 est ajouté. Les tronçons P1, P2, P3, P4, S1, S7, S8 et S10 sont considérés individuellement à tour de rôle. Le scénario T0 ne comprend qu'une réduction des SIDC de 10 % sur l'ensemble du territoire et l'ajout du bassin 410.

6.2 Scénarios d'adaptation avec redimensionnement de plusieurs tronçons

Le deuxième bloc de scénarios consiste à ajouter au scénario de base (réduction des SIDC de 10 % sur l'ensemble du bassin et ajout du bassin de rétention 410) le redimensionnement de plusieurs tronçons de conduites. Le Tableau 12 présente ces scénarios pour un événement d'abord de période de récurrence de 2 ans (A) et ensuite de celle de 10 ans (B). Pour chaque période de récurrence, le choix des tronçons à redimensionner s'inspire des résultats de la section précédente où un seul tronçon était redimensionné.

Tableau 12 : Scénarios d'adaptation comprenant une réduction de 10 % des SIDC sur l'ensemble du réseau de drainage, l'ajout du bassin de rétention de surface 410 et le redimensionnement de plusieurs tronçons de conduites.

| | | | |
|--|---|---|---|
| A1 | A2 | A3 | A4 |
| <ul style="list-style-type: none"> • ↓ 10% SIDC • Bassin 410 • P2 | <ul style="list-style-type: none"> • ↓ 10% SIDC • Bassin 410 • P2 et S10 | <ul style="list-style-type: none"> • ↓ 10% SIDC • Bassin 410 • P2, S10 et P3 | <ul style="list-style-type: none"> • ↓ 10% SIDC • Bassin 410 • P2, S10, P3 et S1 |
| B1 | B2 | B3 | B4 |
| <ul style="list-style-type: none"> • ↓ 10% SIDC • Bassin 410 • P3 | <ul style="list-style-type: none"> • ↓ 10% SIDC • Bassin 410 • P3 et S1 | <ul style="list-style-type: none"> • ↓ 10% SIDC • Bassin 410 • P3, S1 et S10 | <ul style="list-style-type: none"> • ↓ 10% SIDC • Bassin 410 • P3, S1, S10 et S7 |

Note – Les scénarios A s'appliquent à la période de récurrence de 2 ans et les scénarios B, à la période de récurrence de 10 ans.

L'analyse de la figure 11 permet de constater que, pour la période de récurrence de 2 ans, le redimensionnement d'autres tronçons que le tronçon P2 ne conduit à aucune réduction significative de l'indice hydraulique. Les scénarios A2 et A3 n'offrent qu'une réduction supplémentaire marginale de l'indice hydraulique de 2 % ou 3 % pour une croissance des coûts unitaires très marquée. À ce titre, le scénario A1 devrait être le scénario à privilégier dans une optique de gestion des événements pluvieux de période de récurrence de 2 ans à l'horizon de 50 ans.

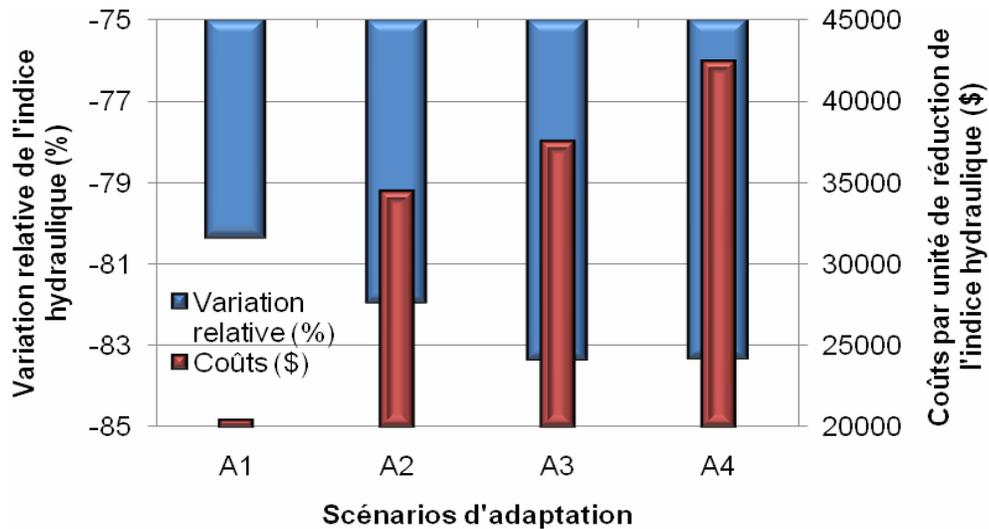


Figure 11 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour les scénarios élaborés à partir de combinaisons de tronçons de conduites pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans.

L'examen de la figure 12 ne permet pas aussi facilement d'établir le scénario optimal parmi ceux analysés pour la période de récurrence de 10 ans. Le scénario B1 permet de réduire considérablement l'indice hydraulique à des coûts unitaires relativement faibles. Toutefois, les scénarios B2 et B3 sont en mesure de réduire significativement l'indice hydraulique comparativement au scénario B1, sans pour autant entraîner une augmentation majeure des coûts unitaires. Dans ce cas, le choix du scénario devrait plutôt être basé sur un objectif de réduction de l'indice hydraulique.

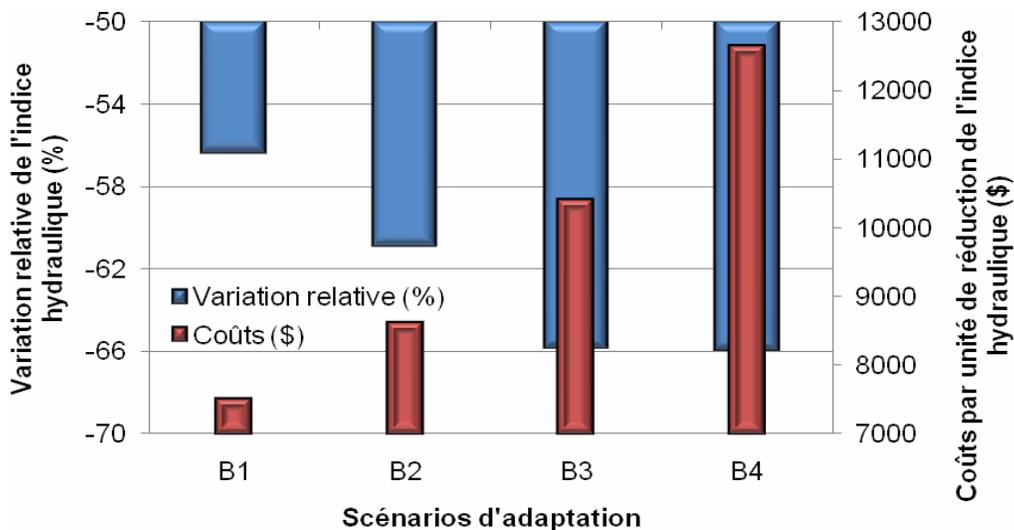


Figure 12 : Variation relative de l'indice hydraulique (%) et coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) pour les scénarios élaborés à partir de combinaisons de tronçons de conduites pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans.

6.3 Comparaison des scénarios d'adaptation

La figure 13 compare les résultats, pour un événement de période de récurrence de 2 ans, des scénarios d'adaptation A tirés des blocs de scénarios décrits dans Mailhot *et al.* (2009).

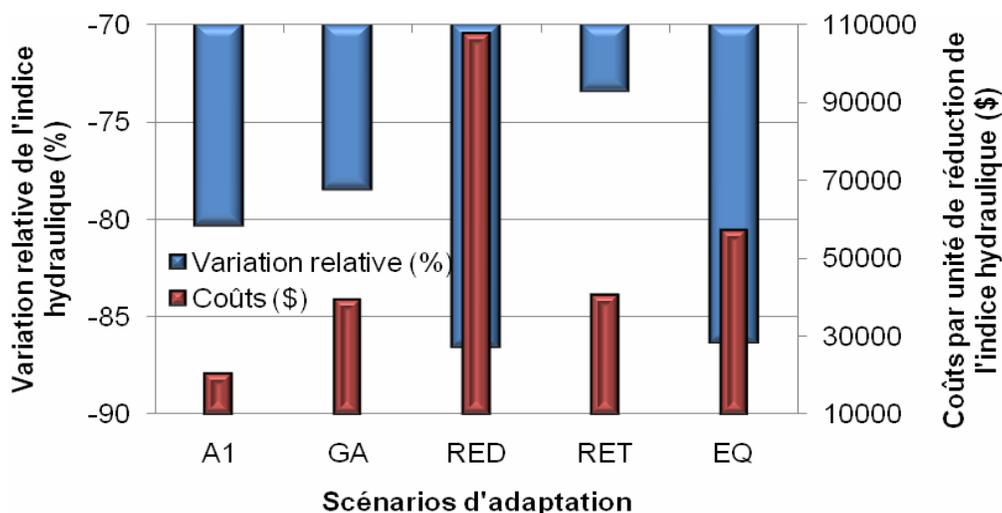


Figure 13 : Comparaison des variations dans la réduction de l'indice hydraulique et des coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) du scénario d'adaptation A1 et des blocs de scénarios A considérés dans Mailhot *et al.* (2009) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 2 ans.

La figure 14 s'attarde, quant à elle, à un événement de période de récurrence de 10 ans. L'analyse de ces figures permet de constater que les scénarios A1 et B3 sont ceux pour lesquels les coûts unitaires sont les plus faibles. De plus, les scénarios selon lesquels la diminution de l'indice hydraulique est supérieure aux scénarios A1 et B3 présentent des coûts unitaires jusqu'à cinq fois plus élevés pour un événement de période de récurrence de 2 ans et trois fois plus élevés pour un événement de période de récurrence de 10 ans. Il ne fait donc aucun doute que, pour les deux périodes de récurrence considérées, les scénarios A1 et B3 sont nettement plus avantageux et offrent un compromis intéressant tant sur le plan d'une réduction significative de l'indice hydraulique que sur celui de coûts unitaires raisonnables.

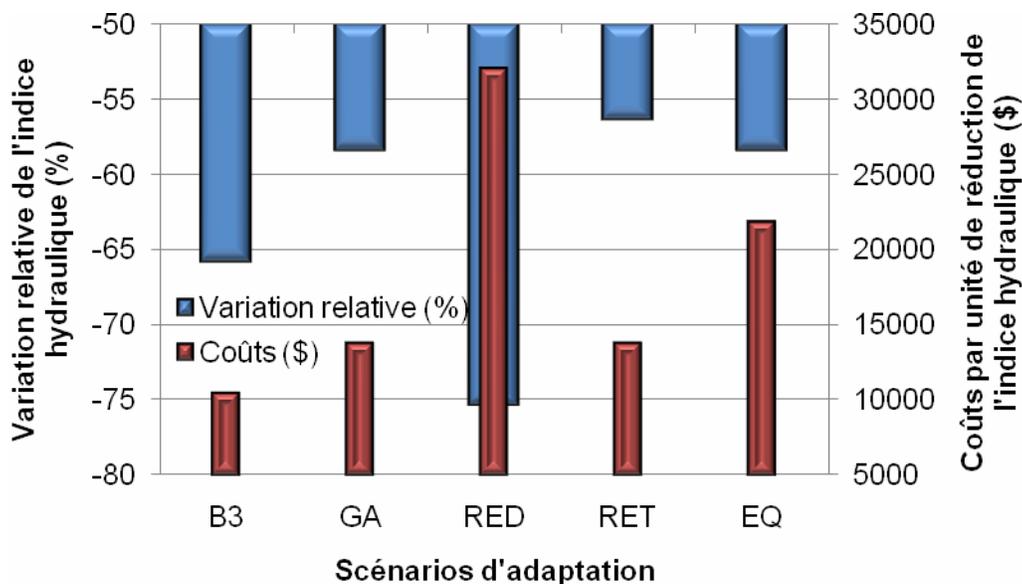


Figure 14 : Comparaison des variations dans la réduction de l'indice hydraulique et des coûts unitaires (coût par unité de réduction de l'indice hydraulique) du scénario d'adaptation B3 et des blocs de scénarios B considérés dans Mailhot *et al.* (2009) pour un événement pluvieux de période de récurrence de 10 ans.

Le tableau 13 donne un aperçu des performances de ces deux scénarios et des coûts correspondants.

Tableau 13 : Variation relative (%) des indices hydraulique, infiltration, usine et surverse des scénarios A1 et B3 pour les périodes de récurrence de 2 ans et de 10 ans ainsi que le coût total des deux scénarios.

| Période de récurrence (année) | Indice de performance | Scénario | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| | | A1 | B3 |
| 2 | Hydraulique | -80 | -78 |
| | Infiltration | 51 | 51 |
| | Usine | 81 | 80 |
| | Surverse | -62 | -60 |
| 10 | Hydraulique | -50 | -66 |
| | Infiltration | 41 | 41 |
| | Usine | 43 | 43 |
| | Surverse | -39 | -40 |
| Coût total (\$) | | 5 723 747 | 9 325 360 |

Le tableau indique que le scénario A1 (période de récurrence de 2 ans) permet de réduire les volumes de surverse de 62 % et le risque de refoulement de 80 % par rapport au *statu quo*. En contrepartie, le volume d'eau acheminé à l'usine est augmenté de 81 %.

6.4 Conclusion

Les analyses préliminaires présentées dans ce court rapport ont permis de démontrer les points suivants :

1. L'analyse des coûts est déterminante dans le choix des solutions à mettre en place. En effet, une solution qui permet une réduction substantielle de l'indice hydraulique et dont les coûts unitaires sont faibles pourrait être préférable à une autre offrant une réduction plus marquée de l'indice, mais dont les coûts unitaires sont plus élevés. À réduction comparable de l'indice hydraulique, la solution offrant les coûts unitaires les moins élevés devrait être retenue. Ainsi, il apparaît clair que les solutions choisies lorsque la seule performance hydraulique est considérée ne sont pas celles qui seront retenues si des considérations liées aux coûts font partie de l'analyse.
2. L'analyse précédente se limitait à considérer uniquement les performances, les coûts associés à une période de récurrence donnée et un seul indice de performance, soit la performance hydraulique. Ainsi, les solutions susceptibles d'être choisies pour la période de récurrence de 2 ans ne sont pas les mêmes que celles qui le seraient pour la période de récurrence de 10 ans. Une seule solution doit cependant être retenue, celle qui offre un compromis acceptable de gestion des événements les plus fréquents et des événements les plus rares. La recherche d'une solution doit donc se faire sur la base d'une évaluation globale de la performance et des coûts, qui englobe le spectre complet des pluies susceptibles de s'abattre sur le territoire donné. De même, l'évaluation de la performance doit intégrer les autres indices de performance (surverses, volumes infiltrés, etc.) et non seulement l'aspect hydraulique. Un travail doit donc être entrepris en ce sens afin de mettre au point une approche qui tient compte du spectre des pluies et intègre plusieurs indices de performance.
3. La recherche de la solution la plus performante suppose de considérer un espace multidimensionnel où plusieurs types de mesure et plusieurs combinaisons de mesures propres aux différents secteurs sont considérés. Dans le contexte des travaux rapportés plus haut, une approche simple a permis d'analyser les solutions une à une, puis de les combiner pour construire d'autres solutions. Une systématisation de cette approche et l'examen d'autres approches devront être considérés.

7 CONCLUSION DE L'ÉTUDE

Au cours d'une précédente recherche, l'INRS-ETE et le consortium Ouranos ont montré qu'en modifiant le cycle de l'eau, les changements climatiques risquaient d'affecter les régimes de pluie dans le sud du Québec. Dans la continuité de ces travaux, la présente étude a permis de quantifier l'impact des pluies potentielles en climat futur (horizon de 50 ans) sur un réseau de drainage urbain :

- une augmentation du risque de mise en charge du réseau de 457 % pour une pluie de récurrence de 2 ans, 126 % pour 10 ans et 111 % pour 50 ans;
- une augmentation des surverses au milieu naturel de 15 % pour une pluie de récurrence de 2 ans, 6 % pour 10 ans et 4 % pour 50 ans;
- une augmentation des volumes d'eau pluviale collectés, transportés et traités de 4 % à 3 % pour ces mêmes pluies.

Les gestionnaires et les instances doivent donc faire face à une évolution dynamique du risque pour les infrastructures (bâti, surface de ruissellement, ouvrage, usine d'épuration) à longue durée de vie utile et offrant très peu de flexibilité, notamment le réseau d'assainissement qui est renouvelé au rythme de 1 % par année. Pour les réseaux urbains unitaires en place, qui accueillent à la fois les eaux de pluie et les eaux sanitaires, les autorités municipales ont trois familles de mesures à leur disposition pour élaborer des stratégies de mitigation des risques attribuables aux pluies intenses :

- augmenter le dimensionnement des conduites;
- augmenter la capacité de rétention (sous terre et en surface);
- diminuer les surfaces imperméables (gestion des apports).

Les simulations réalisées à partir de 12 scénarios d'adaptation combinant ces mesures montrent qu'il est techniquement possible de maintenir le niveau de risque de refoulement, voire de le réduire, malgré les changements climatiques, mais cela se traduit vraisemblablement par plus de surverses et plus d'eau à traiter : pour une pluie de récurrence de 2 ans, une augmentation de 4 % en scénario de *statu quo*, mais jusqu'à 18 % pour un scénario privilégiant les ouvrages de rétention. Les surverses augmentent même sensiblement lorsque le scénario d'adaptation met l'accent sur le grossissement des conduites, de 22 % à 39 % pour une pluie de récurrence de 5 ans en climat futur, selon l'ampleur du surdimensionnement des conduites et des autres mesures. Le surdimensionnement des conduites peut, si le choix des conduites est

réalisé avec soin, diminuer de moitié le risque de mise en charge ou, dans le cas contraire, l'augmenter dans un secteur en aval. Les ouvrages de rétention des eaux pluviales et la diminution des surfaces imperméables constituent les deux mesures ayant le plus d'impact sur la diminution du volume des surverses.

L'étude combinant les analyses techniques et les analyses économiques a permis de montrer que les critères hydrauliques, l'intégration des coûts d'investissement et d'entretien à ces critères et finalement l'intégration de l'analyse économique conduisaient à des choix stratégiques différents dans la palette de mesures de gestion de l'eau. L'optimisation économique, incluant les coûts d'investissement, les frais d'entretien et de renouvellement sur 50 ans, conduit à privilégier la rétention en surface (486 \$/UVR* pour réduire le risque de surverse; 9 400 k\$/UVR* pour réduire le risque de refoulement pour une pluie de récurrence de 2 ans; 4 500 k\$/UVR* pour réduire le risque de refoulement pour une pluie de récurrence de 10 ans). Ce constat est très robuste et demeure valable même si on ajoute au coût du bassin le prix du terrain et un coût forfaitaire des inconvénients de 20 000 \$ (diminution de la valeur foncière) par maison adjacente au lieu où le bassin est aménagé. Pour cette famille de mesures, le coût de réduction du risque de surverse monte alors à 844 \$/UVR*. Toutefois, le coût de construction des bassins sur lesquels est basée cette analyse semble sous-estimé (76 \$/m³ pour un bassin en surface et environ 300 \$/m³ pour un bassin souterrain) par rapport à l'expérience vécue à Montréal.

La gestion des apports (1 500 \$ à 5 000 \$/UVR*) vient en deuxième position pour la réduction des surverses et du risque de refoulement pour une pluie de récurrence de 10 ans en climat futur. Le redimensionnement de certaines conduites ciblées devient compétitif par rapport à la réduction des surfaces imperméables pour réduire le risque de refoulement correspondant à une pluie de récurrence de 2 ans seulement.

* UVR = unité de variation du risque (UVR = mètre dans le cas du risque de refoulement et UVR = mètre cube dans le cas des surverses)

L'analyse économique aboutit ici à une conclusion opposée à la pratique courante en ce qui a trait à la conception et au dimensionnement des ouvrages où les mesures de contrôle à la source sont jugées utiles seulement pour les pluies de récurrence de moins de 2 ans en raison de leur capacité de rétention limitée. Cela s'explique, dans l'analyse économique, par le fait que les ouvrages conçus pour des débits de pointe exceptionnels, donc des événements rares, ne sont utilisés à plein rendement que rarement : c'est le surcoût du surdimensionnement accepté pour réduire un risque de refoulement. Ainsi, les installations requises pour éviter les surverses des pluies de récurrence de 2 ans serviront pour toutes les pluies d'intensité inférieure et égale à celle qui se produit tous les deux ans en moyenne, alors que les installations supplémentaires mises en place pour des pluies plus intenses des périodes de récurrence de 10 ans et de 50 ans seront utilisées à plein rendement beaucoup moins fréquemment, soit 5 fois et une seule fois respectivement. Il en découle que le coût unitaire des mesures d'adaptation aux pluies à récurrence de 10 ans et de 50 ans est nécessairement beaucoup plus élevé que celui des mesures destinées aux pluies de récurrence de 2 ans. Le choix de mesures à privilégier ne peut donc être réduit aux seuls critères techniques ou aux coûts d'investissement.

L'adaptation des systèmes de drainage – peu flexibles – doit atteindre au moins deux objectifs *a priori* contradictoires : éviter les refoulements, d'une part, et réduire les surverses, d'autre part, pour des pluies de récurrences différentes. De plus, au moment de la mise en œuvre sur le terrain, les contraintes de terrain affecteront dramatiquement le coût et la faisabilité des projets en milieu urbain (coordination avec la réfection des infrastructures de surface, disponibilité et coût du terrain, etc.). La rapidité de mise en œuvre par rapport aux attentes ainsi que la répartition de l'effort entrent aussi en ligne de compte. Dans un tel contexte, les stratégies d'adaptation du drainage urbain feront certainement appel à une combinaison de mesures choisies selon leur faisabilité sur le site.

Dans cette optique, les simulations réalisées montrent que les scénarios d'adaptation qui combinent judicieusement les trois familles de mesure – ouvrages de rétention, ouvrages de contrôle à la source et choix éclairé des conduites à redimensionner – conduisent à des coûts d'investissement qui varient, selon les différents scénarios, de 11 M\$ (scénarios favorisant la diminution des apports ou la rétention) à 33 M\$ (scénario

privilégiant le redimensionnement de conduites), et ce, pour des dépenses d'investissement variant de 140 k\$ à 200 k\$ par point de pourcentage du risque de refoulement (pour une pluie de récurrence de 2 ans en climat futur).

L'adaptation des systèmes de drainage consiste alors à déterminer la pondération et la localisation de ces différentes mesures en fonction de critères techniques et économiques ainsi que de contraintes de terrain. La modélisation hydraulique des réseaux et hydrologique des bassins versants est donc un outil incontournable dans la prise de décision, mais elle doit être combinée aux critères d'analyse économique, selon une vue d'ensemble du bassin versant plutôt que de choix ponctuels basés sur les coûts d'investissement. La méthodologie utilisée pour cette étude peut être reprise pour d'autres secteurs. Elle comprend les étapes suivantes :

1. Simuler chacune des catégories de mesures à plusieurs endroits pour déceler les mesures les plus efficaces pour chaque emplacement.
2. Sélectionner les mesures propres à chaque emplacement selon les critères économiques, les contraintes de terrain et le calendrier d'intervention sur les infrastructures (plan d'intervention).
3. Simuler des combinaisons variées des meilleures interventions pour trouver la combinaison optimale selon les pondérations établies par l'analyse économique (bassin de surface, gestion des apports, puis redimensionnement).

La conclusion générale de cette étude, combinant analyse technique pointue et analyse économique, est que l'adaptation des systèmes de drainage aux changements climatiques est moins une question de modification des standards de dimensionnement qu'une question de changement des pratiques dans la gestion des eaux pluviales. Traduite en actions concrètes, du point de vue de l'exploitant d'un réseau de drainage, cette conclusion implique les actions suivantes :

1. Intégrer la gestion des eaux pluviales, en privilégiant leur retour au milieu naturel, dans chaque nouveau lotissement d'importance, en rupture avec la culture du raccordement systématique au réseau unitaire.
2. Renforcer les exigences de rétention des eaux de pluie, en surface ou en souterrain, de façon classique ou par des infrastructures vertes, liées à la délivrance de permis de construction. Pour des sites à développer – ou à redévelopper – cela peut passer par une analyse de la topographie pour assurer

- des usages compatibles avec les risques de mise en charge du réseau ou encore une modification du profil des surfaces pour favoriser l'écoulement des eaux de ruissellement vers les espaces verts.
3. Poursuivre le développement des plans directeurs et la modélisation des bassins de drainage.
 4. Favoriser les projets qui réduisent les surfaces imperméables (débranchement de gouttières, verdissement de ruelles et de cours d'école, normes de verdissement pour les stationnements).

Ce virage dans la gestion des eaux pluviales doit s'accompagner d'un changement de culture tant du côté des services publics que du côté des utilisateurs du réseau d'assainissement. Du côté de la municipalité, il faut rompre avec les méthodes qui limitent les interventions à l'espace public et intégrer l'espace privé dans la gestion des pluies. Du côté des usagers du réseau, il faut mettre fin à la culture du tout à l'égout du réseau unitaire afin d'être en mesure de gérer les eaux de pluie selon leur qualité et la capacité du système d'assainissement.

Pour finir, l'étude a mis en lumière plusieurs aspects qui doivent être approfondis, en particulier sur le plan économique, afin de réaliser une véritable analyse coût-avantage des mesures de gestion des eaux pluviales :

- Quantifier la valeur d'usage des biens et services affectés par les surverses ou les refoulements.
- Établir une méthodologie d'analyse et de décision fondée sur des critères multiples, pour différentes périodes de récurrence de pluie et des combinaisons variables de mesures.
- Quantifier la valeur ajoutée des PGO sur le plan de la qualité de vie.

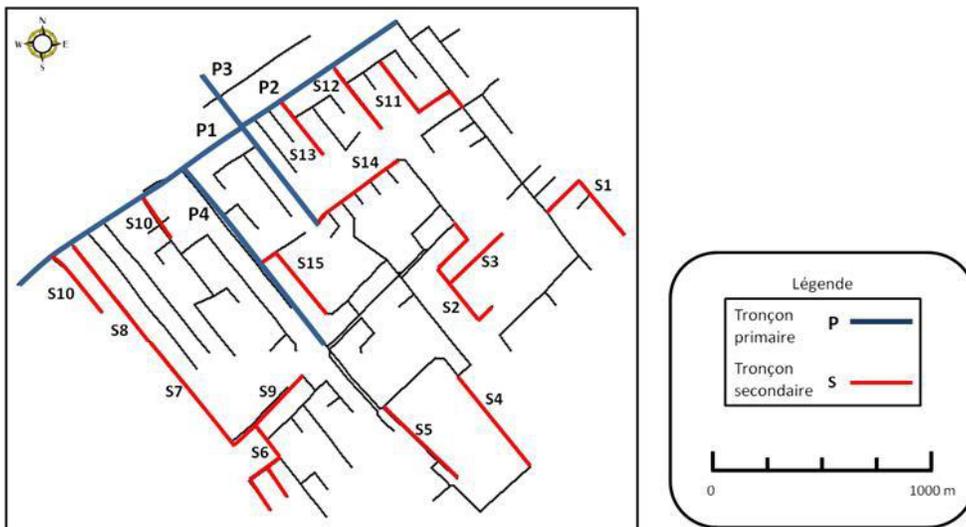
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Asseau-BPR (1997). *Optimisation de la solution d'intervention pour le bassin de la 25^e Avenue*, Rapport d'étude A96-7500, Ville de Montréal, 26 p.
- Bolduc, S., A. Mailhot (2010). *Analyse des coûts de mise en place de divers scénarios d'adaptation*, Document préliminaire, INRS-ETE, Québec, 27 p.
- BPR (2008). *Évaluation des coûts unitaires des mesures d'adaptation aux changements climatiques en drainage urbain*, Rapport final, CSOB828 (60ET), Ville de Montréal, 68 p.
- Graham, P., Maclean, L., Medina, D., Patwardhan, A., et Vasarhelyi, G. (2004). *The role of water balance modelling in the transition to low impact development*, Water Qual. Res. J. Can., 39(4), p. 331-342.
- Larrivée, C. et Desjarlais, C. (2010). *Analyse économique de l'adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec : comparaison de diverses stratégies d'adaptation pour un secteur de Montréal*, Ouranos, Montréal, 25 p.
- Mailhot, A., Bolduc, S., Duchesne, S., et Pelletier, G. (2009). *Adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec : Comparaisons de diverses stratégies d'adaptation pour un secteur de Montréal*, Rapport de recherche R-1080, incluant une annexe.
- Mailhot, A., S. Bolduc, S. Duchesne, J. P. Villeneuve (2008). *Adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec*, *Revue de littérature et analyse critique des mesures de contrôle à la source*, INRS-ETE, Québec, 137 p.
- MSSC (2008). *Minnesota stormwater manual*, Version 2, Minnesota pollution control agency, Saint-Paul, Minnesota, 883 p.
<http://proteus.pca.state.mn.us/publications/wq-strm9-01.pdf> [consulté le 19 janvier 2010].
- Stephens, K.A., Graham, P., et Reid, D. (2002). *Stormwater planning – A guidebook for British Columbia*, Ministry of water, land and air protection, Vancouver, British-Columbia.
<http://www.env.gov.bc.ca/epd/epdpa/mpp/stormwater/stormwater.html> [consulté le 2 juillet 2009].

Annexe A (Mailhot, 2009)



1. Localisation du secteur d'étude



2. Tronçons primaires et secondaires considérés



3. Subdivision en sous-secteurs du territoire à l'étude



4. Emplacement des bassins

Annexe B

Coût unitaire de capacité (\$/m³) des aménagements de gestion ou de réduction des apports (BPR, 2008)

| Aménagement de gestion/réduction des apports | Type | | |
|---|-------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| Bassin de rétention de surface | 200 | 79 | 76 |
| Bassin de biorétention | 2 540 | 380 | |
| Baril de pluie et débranchement de gouttières | 750 | 640 | 380 |
| Tranchée d'infiltration | 625 | 525 | |
| Dépression végétalisée | 185 | 290 | |

Annexe C

Coût de remplacement de conduites de différents diamètres (BPR, 2008)

| Diamètre des conduites (mm) | Coût du mètre linéaire (\$) |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 300 | 1 500 |
| 375 | 1 750 |
| 450 | 1 933 |
| 525 | 2 000 |
| 600 | 2 269 |
| 675 | 2 500 |
| 750 | 2 625 |
| 900 | 3 015 |
| 1 050 | 3 225 |
| 1 200 | 3 940 |
| 1 350 | 4 102 |
| 1 500 | 4 805 |
| 1 650 | 4 958 |
| 1 800 | 5 250 |
| 1 950 | 5 727 |

Annexe D

Variation relative (%) de l'indice hydraulique pour chacun des tronçons, pour les événements pluvieux de périodes de récurrence de 2 ans et de 10 ans

| Tronçon | Variation relative de l'indice hydraulique (%) | |
|---------|--|--------|
| | 2 ans | 10 ans |
| P1 | -33 | -6 |
| P2 | -11 | -1 |
| P3 | -7 | -11 |
| P4 | -10 | -2 |
| S1 | 0 | -6 |
| S2 | 0 | -2 |
| S3 | 0 | -3 |
| S4 | -5 | 1 |
| S5 | 0 | -1 |
| S6 | 0 | -3 |
| S7 | -5 | -9 |
| S8 | -15 | -1 |
| S9 | 0 | -2 |
| S10 | -20 | -3 |
| S11 | 0 | 0 |
| S12 | 0 | -1 |
| S13 | 0 | -1 |
| S14 | -1 | -3 |
| S15 | -1 | -2 |