

# ÉVALUATION DES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA SÉPARATION DES RÉSEAUX D'ÉGOUT UNITAIRES

Remis au service de l'Ingénierie de la Ville de Québec  
Projet PPD2012507

par

Sophie Duchesne, ing., Ph.D.  
Jean-David Cuzin  
Dikra Khedhaouria  
Danilo Costa de Almeida

Centre Eau Terre et Environnement  
Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE)  
490, rue de la Couronne  
Québec (QC) G1K 9A9

Rapport No R1479

Juillet 2014



# TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction .....	1
2	Revue des études comparatives entre réseaux unitaires et réseaux séparés.....	3
3	Comparaison à grande échelle des deux types de réseau.....	5
3.1	Méthodologie générale .....	5
3.2	Hypothèses.....	6
3.2.1	Coûts .....	6
3.2.2	Hydrologie et hydraulique.....	7
3.2.3	Qualité de l'eau.....	10
3.3	Description des secteurs à l'étude, des modèles et des données disponibles.....	11
3.4	Travaux initiés en raison d'une problématique environnementale.....	14
3.4.1	Comparaison des coûts sans considération des changements de volumes acheminés à la station de traitement .....	14
3.4.2	Comparaison des coûts en tenant compte des changements de volumes acheminés à la station de traitement .....	18
3.4.3	Comparaison de la performance environnementale.....	22
3.5	Travaux initiés en raison d'une problématique structurale.....	25
3.5.1	Modification des sous-bassins et réseaux .....	26
3.6	Synthèse.....	30
4	Réfection des rues pour le sous-bassin 1580 du secteur Ouest.....	33
4.1	Description du secteur .....	33
4.2	Méthodologie, résultats et discussion .....	34
5	Impact du rehaussement du niveau de service.....	37
6	Conclusions.....	39
7	Références.....	43
8	Annexes .....	45
8.1	Choix des années considérées dans l'analyse .....	45

8.2	Dimensionnement du réservoir de rétention .....	49
8.3	Dimensionnement des bassins d'orage .....	49
8.4	Résultats détaillés de la comparaison des coûts pour des travaux initiés en raison d'une problématique structurale .....	52
8.5	Résultats détaillés de la comparaison de la performance environnementale.....	55
8.6	Données de pluie .....	57

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Localisation des secteurs à l'étude .....	12
Figure 2 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur U040 .....	16
Figure 3 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur U047 .....	17
Figure 4 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur Beauport .....	17
Figure 5 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur Ouest .....	18
Figure 6 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur U040 en incluant le coût pour le traitement des eaux usées .....	20
Figure 7 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur U047 en incluant le coût pour le traitement des eaux usées .....	21
Figure 8 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur Beauport en incluant le coût pour le traitement des eaux usées .....	21
Figure 9 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur Ouest en incluant le coût pour le traitement des eaux usées .....	22
Figure 10 - Sous-bassin 1580 (les rues, conduites et bâtiments pris en compte apparaissent en cyan sur cette figure).....	34
Figure 11 - Secteur U040, pluviomètre U03A .....	45
Figure 12 - Secteur U047, pluviomètre U046.....	46
Figure 13 - Secteur Beauport, pluviomètre U921 .....	47
Figure 14 - Secteur Ouest, pluviomètre U906.....	48
Figure 15 - Dimensionnement du bassin d'orage du secteur U040, pour une récurrence de 100 ans en climat futur .....	50
Figure 16 - Dimensionnement du bassin d'orage du secteur U047, pour une récurrence de 100 ans en climat futur .....	50
Figure 17 - Dimensionnement du bassin d'orage du secteur Beauport, pour une récurrence de 100 ans en climat futur .....	51
Figure 18 - Dimensionnement du bassin d'orage du secteur Ouest, pour une récurrence de 100 ans en climat futur .....	51



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Coûts pris en compte dans les différents scénarios.....	7
Tableau 2 - Concentrations prises en compte pour le calcul des charges.....	11
Tableau 3 - Principales caractéristiques des secteurs à l'étude.....	11
Tableau 4 - Données utilisées pour les analyses.....	13
Tableau 5 - Volumes de rétention calculés pour les scénarios S1 (bassin) et S3 (réservoir) pour chacun des secteurs .....	13
Tableau 6 - Charge moyenne déversée dans le milieu récepteur du 1 <sup>er</sup> mai au 31 octobre pour les différents scénarios (la solution la plus avantageuse entre les scénarios S2 et S3 apparaît en grisé) .....	24
Tableau 7 - Comparaison des coûts pour les scénarios S2 et S3 en supposant un taux de remplacement annuel de 2 %; la cellule en grisé représente la solution la moins coûteuse .....	28
Tableau 8 - Comparaison des coûts pour les scénarios S2 et S3 en supposant un taux de remplacement annuel de 10 %; la cellule en grisé représente la solution la moins coûteuse ....	29
Tableau 9 - Résultats de l'analyse sur le sous-bassin 1580 .....	36
Tableau 10 - Volume de rétention requis en aval du secteur U040, pour différentes pluies et différentes configurations du modèle .....	38
Tableau 11 - Volume du 5 <sup>e</sup> épisode de débordement le plus volumineux à chaque année.....	49
Tableau 12 - Comparaison des coûts sur une base annuelle lorsque les travaux sont initiés pour une problématique structurale (1 représente la solution la moins coûteuse et 4 la plus coûteuse); la solution en grisé est celle qui est la moins coûteuse entre les scénarios S2 et S3.....	52
Tableau 13 - Comparaison des coûts sur une base annuelle lorsque les travaux sont initiés pour une problématique structurale, en considérant un pourcentage d'imperméabilité fixé à 75 % sur tous les sous-bassins (1 représente la solution la moins coûteuse et 2 la plus coûteuse); la solution en grisé est celle qui est la moins coûteuse. ....	53
Tableau 14 - Comparaison des coûts sur une base annuelle lorsque les travaux sont initiés pour une problématique structurale, en considérant que 50 % du ruissellement est acheminé vers les conduites pseudo-sanitaires (1 représente la solution la moins coûteuse et 2 la plus coûteuse); la solution en grisé est celle qui est la moins coûteuse.....	54
Tableau 15 - Charge moyenne déversée dans le milieu récepteur du 1 <sup>er</sup> mai au 31 octobre pour les différents scénarios, pour la situation où l'on suppose que tous les sous-bassins ont un pourcentage d'imperméabilité de 75 %.....	55

Tableau 16 - Charge moyenne déversée dans le milieu récepteur du 1 <sup>er</sup> mai au 31 octobre pour les différents scénarios, pour la situation où l'on suppose que 50 % du ruissellement est acheminé vers le réseau pseudo-domestique.....	56
Tableau 17 - Pluie du 7 août 2009 .....	57
Tableau 18 - Pluie Chicago de durée 3 h et récurrence 1 an en climat futur .....	58
Tableau 19 - Pluie Chicago de durée 3 h et récurrence 2 ans en climat futur .....	59
Tableau 20 - Pluie du 23 septembre 2009 .....	60

# 1 Introduction

Lors de travaux de réfection sur son réseau d'égout unitaire, la Ville de Québec, tout comme plusieurs municipalités du Québec, doit souvent se questionner sur la pertinence ou non de convertir les portions de réseau concernées en réseau pseudo-séparé. Or, la réponse à cette question n'est pas simple, puisqu'elle intègre de nombreux aspects liés tant aux coûts des travaux de séparation ou de mise à niveau du réseau unitaire qu'aux diverses contraintes à respecter (notamment les contraintes environnementales). C'est dans ce contexte que la section Planification et développement du service de l'Ingénierie de la Ville de Québec a mandaté notre équipe de l'INRS pour réaliser une étude visant à déterminer le meilleur choix entre le maintien du réseau unitaire, avec construction d'un réservoir de rétention, et la pseudo-séparation des réseaux. Les analyses ont été réalisées par simulations SWMM sur quatre secteurs existants de la Ville de Québec, en utilisant des modèles SWMM fournis par la Ville.

Le chapitre suivant présente une revue sommaire d'études ayant déjà été réalisées pour comparer les réseaux unitaires et séparés. Par la suite, le Chapitre 3 expose les quatre secteurs à l'étude ainsi que la méthodologie adoptée et les résultats obtenus pour la comparaison des deux types de réseau sur ces secteurs. Les Chapitres 4 et 5 présentent les résultats d'analyses supplémentaires réalisées pour comparer les deux options sur la base de critères plus spécifiques. Enfin, les principales conclusions sont résumées au Chapitre 6.



## 2 Revue des études comparatives entre réseaux unitaires et réseaux séparés

Peu d'études comparant les réseaux unitaires et séparés sont recensées dans la littérature. La plupart sont des études globales s'appuyant sur des résultats de simulation et/ou sur des mesures en réseau.

Brombach et al. (2005) ont comparé les deux options sur la base des charges en divers polluants rejetées au milieu récepteur, en utilisant des concentrations mesurées. Pour ce faire, ils ont tenu compte des débordements du réseau unitaire et des rejets du réseau pluvial, mais également des rejets de la station de traitement des eaux usées. La charge moyenne de pollution déversée a été obtenue en multipliant les débits rejetés par des concentrations moyennes issues d'une base de données de concentrations mesurées. Les volumes moyens ont été tirés d'une évaluation à long terme de 34 systèmes d'égout de la région Sud de l'Allemagne. Ces auteurs ont supposé qu'il n'y avait aucun traitement des eaux de ruissellement avant leur rejet au milieu récepteur dans le système séparé. Ils ont négligé le ruissellement qui n'intègre pas le réseau, c'est-à-dire celui qui s'infiltre ou qui s'écoule directement vers le milieu récepteur sans passer par le réseau. Leurs résultats montrent que le réseau unitaire est supérieur au séparé en ce qui concerne les solides totaux, les solides en suspension et les métaux lourds, alors que le réseau séparé est préférable en ce qui concerne la demande biochimique en oxygène (DBO) et le phosphore. Ils concluent de leur analyse que toute préférence non critique envers un réseau séparé comme solution avantageuse est questionnable; des études au cas par cas sont recommandées.

De Toffol et al. (2007) ont comparé les réseaux unitaires et séparés en se basant sur des données de la littérature et sur des simulations sur des cas spécifiques, en considérant différents critères soit : 1) la fréquence d'érosion du cours d'eau récepteur, 2) les impacts sur la qualité du cours d'eau récepteur (impacts toxiques aigus, impacts toxiques cumulés, impacts sur l'oxygène, impacts sur l'eutrophisation); et 3) les coûts. Ils ont supposé dans leur évaluation que les rejets du réseau pluvial n'étaient soumis à aucun traitement avant leur rejet au milieu récepteur. Ils constatent que les coûts du réseau séparé sont moindres que ceux du réseau unitaire, en raison des coûts associés à la construction du réservoir de rétention, et que le réseau séparé performe mieux pour la pollution aigue. Cependant, les charges totales (impacts cumulés) sont toujours plus élevées pour le réseau séparé que pour l'unitaire. Ils concluent que les systèmes séparés sont préférables pour les rivières avec des problèmes de toxicité aigüe,

alors que les réseaux unitaires sont à privilégier dans les autres cas (problèmes de pollution cumulative et / ou d'érosion). Le choix du type de réseau devrait donc être fait en considérant les concentrations de polluants dans le bassin versant et la sensibilité des eaux réceptrices.

Welker (2008) a comparé les charges annuelles de pollution rejetées par un réseau unitaire et un réseau séparé, par simulation sur un système hypothétique. Pour le réseau unitaire, les rejets pris en compte par cet auteur sont les débordements et les rejets de la station de traitement. Pour le réseau séparé, les rejets considérés sont ceux de la station de traitement et les rejets d'eaux pluviales. Il observe que les deux types de réseau ont une performance similaire en ce qui concerne l'ammonium, puisque celui-ci provient surtout du débit de temps sec. Par contre, le réseau séparé émet plus de matières en suspension (MES), de cuivre et de demande chimique en oxygène (DCO) que l'unitaire. Cet auteur a montré, par simulation, que même en déconnectant 25 % des surfaces perméables du réseau de drainage, ce qu'il considère comme une valeur maximale limite, le réseau séparé émet encore plus de MES, de cuivre et de DCO que le réseau unitaire.

Mannina et Viviani (2009) ont comparé les charges déversées vers les milieux récepteurs par les réseaux unitaires et séparés, en intégrant les rejets de la station de traitement, sur la base de résultats de simulations pour des bassins de différentes dimensions et de diverses densités de population. Une série de pluie de six ans a été utilisée pour ces évaluations. En supposant que les rejets du pluvial ne recevaient aucun traitement, ils ont constaté que le réseau séparé déverse plus de polluants dans le milieu récepteur que le réseau unitaire. Lorsque des mesures sont mises en place pour traiter les rejets du réseau pluvial, alors les charges rejetées par les réseaux séparé et unitaire deviennent similaires. Par ailleurs, ils ont observé que la masse totale déversée, pour les deux types de réseau, diminue lorsque la densité de population augmente.

Tecsult (2006) a réalisé une étude différente de celles précédemment présentées, puisqu'il s'agissait d'une étude détaillée sur un secteur de trois rues (25 résidences). Le réseau desservant ce secteur était sous-dimensionné et nécessitait une réfection pour des raisons hydrauliques. D'après leur analyse, les coûts du maintien d'un réseau unitaire ou de la séparation des réseaux sont similaires pour ce secteur. Cependant, la séparation des réseaux permettrait de ramener en avant des maisons plusieurs raccordements situés en arrière-lot, réglant du même coup les problèmes de refoulement observés dans ce secteur et diminuant les risques de débordement.

### 3 Comparaison à grande échelle des deux types de réseau

Dans ce chapitre, les analyses ont été réalisées sur quatre bassins versants urbains de la ville de Québec desservis par des réseaux unitaires, dont la superficie varie de 40 ha à 1 241 ha.

#### 3.1 Méthodologie générale

Quatre scénarios ont été comparés lors de cette analyse soit :

- S1) Pseudo-séparation avec bassin d'orage
- S2) Pseudo-séparation sans bassin d'orage
- S3) Statu quo
- S4) Réseau unitaire avec réservoir de rétention

Puisqu'il est difficile de réaliser la séparation complète des réseaux dans un secteur desservi par un réseau unitaire, les scénarios S1 et S2 supposent la construction de réseaux pseudo-séparés plutôt qu'entièrement séparés. Ainsi, pour ces scénarios, les eaux pluviales collectées sur les lots privés sont acheminées à une conduite pseudo-sanitaire tandis que les eaux provenant des rues, stationnements et autres espaces publics sont acheminées vers une conduite pluviale. Dans le scénario S1, un bassin d'orage est conçu selon les règles de la Ville de Québec (Ville de Québec, 2012), avec une récurrence d'événement de 100 ans.

Le statu quo (scénario S3) correspond à la situation pour laquelle le réseau unitaire de conduites est conservé et aucun réservoir de rétention n'est construit pour réduire le nombre annuel de débordements. En principes, ce scénario ne pourrait pas être mis en pratique, mais il est analysé et présenté en guise de comparaison avec les autres scénarios. Pour le scénario S4, on suppose qu'en plus du renouvellement annuel des conduites unitaires, un réservoir de rétention est construit de façon à limiter à quatre au maximum le nombre de débordements vers le milieu récepteur du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre, pour chaque année étudiée.

Quatre bassins versants urbains (décrits à la section 3.3) ont été considérés pour cette analyse. Pour chacun de ces secteurs, les modèles SWMM représentant la situation existante ont été fournis par la Ville de Québec. Les débits et charges en polluants ont été simulés avec les modèles SWMM, pour la période du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre des années 2005 à 2012. En raison de données manquantes, certaines de ces années n'ont pas été considérées, tel que précisé à

la section 3.3. Les débits simulés par les modèles SWMM ont été utilisés pour calculer les divers volumes requis pour la comparaison des scénarios.

Les coûts des divers scénarios pour les quatre grands secteurs à l'étude ont été comparés selon deux façons de faire différentes. La première, présentée à la section 3.4, suppose que le remplacement est initié en raison d'une sous-performance environnementale (débordements trop fréquents), tout en considérant qu'une portion du réseau unitaire doit être renouvelée pour des raisons de détérioration structurale. La seconde, présentée à la section 3.5, suppose que le remplacement de conduites survient en raison de la détérioration structurale des conduites seulement (aucun problème de débordements trop fréquents).

## **3.2 Hypothèses**

Cette section expose les hypothèses qui ont été retenues pour réaliser les analyses dont les résultats sont présentés aux sections 3.4 et 3.5.

### *3.2.1 Coûts*

Les coûts pris en compte pour la comparaison des scénarios sont : 1) le coût de remplacement des conduites unitaires (par une conduite pluviale pour les scénarios S1 et S2; par une conduite unitaire pour les scénarios S3 et S4); 2) le coût de l'ajout d'une conduite sanitaire (pour les scénarios S1 et S2); 3) le coût de construction du bassin d'orage pour le scénario S1; 4) le coût de construction du réservoir de rétention pour le scénario S4; 5) la diminution de coût associée à la réduction du volume d'eau acheminé à la station de traitement des eaux usées pour les scénarios S1 et S2; et 6) le coût lié à l'accroissement du volume d'eau acheminé à la station de traitement des eaux usées pour le scénario S4.

Le Tableau 1 résume les coûts pris en compte pour chaque scénario et les coûts unitaires retenus.

**Tableau 1 - Coûts pris en compte dans les différents scénarios**

	Remplacement des conduites unitaires	Ajout d'une conduite sanitaire	Réservoir de rétention	Bassin d'orage	Volume supplémentaire à la station
S1	X	X		X	X (négatif)
S2	X	X			X (négatif)
S3	X				
S4	X		X		X
Coût unitaire	780 \$/m	320 \$/m	1 000 \$/m <sup>3</sup>	100 \$/m <sup>3</sup>	0,456 \$/m <sup>3</sup>

Les coûts indiqués aux quatre premières colonnes du tableau précédent ont été établis sur la base de discussions avec le personnel du service de l'Ingénierie de la Ville de Québec. Quant au coût associé au volume d'eau acheminé à la station de traitement des eaux usées, il correspond à la somme des coûts d'opération de la station de traitement (établi à 0,14 \$/m<sup>3</sup> selon Villeneuve et al., 2012) et des coûts pour l'ajout de capacité supplémentaire à la station (établi à 0,316 \$/m<sup>3</sup> en divisant le coût total annualisé des stations de Québec par leur capacité annuelle de traitement, informations issues de Duchesne et Villeneuve, 2006).

Tel que mentionné à la section précédente, le volume du bassin d'orage pour le scénario S1 est calculé selon les règles de la Ville de Québec (Ville de Québec, 2012) avec une récurrence d'événement de 100 ans. De plus, le volume du réservoir de rétention dans le scénario S4 est calculé de façon à limiter à quatre au maximum le nombre de débordements simulés du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre pour chaque année étudiée.

### 3.2.2 Hydrologie et hydraulique

Pour tous les scénarios, on suppose que les modèles SWMM fournis par la Ville de Québec représentent adéquatement l'hydrologie et l'hydraulique sur les quatre bassins étudiés. De plus, on suppose que les conduites ne sont remplacées qu'en raison de leur détérioration structurale et / ou de la sous-performance environnementale du réseau (fréquence des débordements trop élevée). Ainsi, on suppose que la performance hydraulique du réseau est adéquate, c'est-à-dire que la fréquence des refoulements et/ou des inondations n'est pas un facteur rendant nécessaire le renouvellement des conduites. On présume donc que les réseaux, dans leur forme actuelle, sont conçus de façon à assurer une bonne performance hydraulique.

Pour les scénarios S3 et S4, les volumes de débordement sont issus de la modélisation SWMM, pour les exutoires qui sont précisés à la section 3.3. Quant au nombre de débordements et au volume de débordement par événement, ils sont établis en supposant qu'un épisode de débordement est distinct d'un autre lorsqu'une période d'au moins 24 h sans aucun débit de débordement les sépare. Pour le scénario S4, le volume de débordement pour chaque épisode de débordement est calculé comme étant la différence entre le volume de débordement calculé par SWMM et le volume du réservoir de rétention (le volume de débordement étant nul lors des épisodes générant des volumes de débordement inférieurs au volume du réservoir de rétention). Ce calcul est réalisé de façon globale pour tous les exutoires du réseau. Enfin, pour le scénario S4, le volume d'eau supplémentaire acheminé à la station de traitement est calculé pour chaque événement comme étant le volume d'eau stocké dans le réservoir de rétention.

Tel que mentionné précédemment, les scénarios S1 et S2 représentent la pseudo-séparation des réseaux unitaires, et non leur séparation complète. Ainsi, on doit calculer pour chaque sous-bassin la proportion du ruissellement qui rejoint le réseau pluvial et celle qui rejoint le réseau pseudo-sanitaire. Cette proportion a été établie pour les quatre bassins versants à l'étude sur la base de l'analyse des orthophotos fournies par la Ville (résultats présentés au Tableau 4).

Pour l'analyse des scénarios S1 et S2, on doit calculer, pour la comparaison des coûts et des performances environnementales : 1) la réduction du volume acheminé à la station de traitement des eaux usées suite à la séparation ( $\Delta VSt_{ps}$ ); 2) le volume d'eau de ruissellement acheminé vers le milieu récepteur suite à la séparation ( $VMr_{ps}$ ) et 3) le volume de débordement du réseau pseudo-séparé ( $VDeb_{ps}$ ). Les deux premières valeurs sont calculées à l'aide des équations 1 et 2.

$$\Delta VSt_{ps} = VSt_{actu} - VSt_{ps}$$

$$\text{avec } VSt_{ps} = (V_{infil} + V_{dom}) + Prop_{dom} V_{pluv} \quad (1)$$

$$\text{et } V_{pluv} = VSt_{actu} + VDeb_{actu} - (V_{infil} + V_{dom})$$

où :  $\Delta VSt_{ps}$  = réduction de volume acheminé à la station de traitement suite à la pseudo-séparation du réseau (m<sup>3</sup>/an);

$VSt_{actu}$  = volume acheminé à la station de traitement dans la situation actuelle (tel que simulé par SWMM) (m<sup>3</sup>/an);

$VSt_{ps}$  = volume acheminé à la station de traitement suite à la pseudo-séparation (m<sup>3</sup>/an);

$V_{infil}$  = volume d'infiltration dans le réseau, déterminé selon les valeurs données à la section 3.3 (Tableau 3) (m<sup>3</sup>/an);

$V_{dom}$  = volume d'eaux sanitaires dans le réseau, déterminé selon les valeurs données à la section 3.3 (Tableau 3) (m<sup>3</sup>/an);

$Prop_{dom}$  = proportion du ruissellement qui rejoint le réseau pseudo-sanitaire (valeurs précisées à la section 3.3, Tableau 4);

$V_{pluv}$  = volume provenant du ruissellement pluvial dans les conduites unitaires (situation actuelle) (m<sup>3</sup>/an);

$VDeb_{actu}$  = volume de débordement dans la situation actuelle (m<sup>3</sup>/an).

$$VMr_{ps} = (1 - Prop_{dom}) V_{pluv} \quad (2)$$

où :  $VMr_{ps}$  = volume d'eau de ruissellement acheminé vers le milieu récepteur en pseudo-séparé pour les sous-bassins qui sont actuellement desservis par un réseau unitaire (m<sup>3</sup>/an).

Quant au volume de débordement du réseau pseudo-séparé ( $VDeb_{ps}$ ), il correspond au volume de débordement obtenu par simulation avec les modèles SWMM en utilisant comme données d'entrée de pluie, à chaque pas de temps, l'observation du pluviomètre multipliée par  $Prop_{dom}$ . Les hypothèses retenues pour calculer  $\Delta VSt_{ps}$ ,  $VMr_{ps}$  et  $VDeb_{ps}$  supposent que la proportion de ruissellement générée par les surfaces connectées au réseau pseudo-sanitaire est égale au ratio de ces superficies sur la superficie totale des bassins versants. Cette hypothèse est assez forte, puisque les surfaces drainées par le réseau pluvial (rues, etc.) ont en général un pourcentage d'imperméabilité plus élevé que les surfaces connectées au réseau

pseudo-sanitaires (terrains privés). Ces hypothèses conduiront donc à sous-estimer  $\Delta VSt_{ps}$  et  $VMr_{ps}$  ainsi qu'à surestimer  $VDeb_{ps}$ .

### 3.2.3 Qualité de l'eau

La performance environnementale de chacun des scénarios est basée sur la charge en coliformes fécaux (CF), matières en suspension (MES), demande biochimique en oxygène à 5 jours (DBO<sub>5</sub>) et plomb (Pb) déversée vers les milieux récepteurs du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre de chaque année. Pour ces évaluations, la charge rejetée par la station de traitement (eaux usées traitées) n'est pas prise en compte. De plus, on tient compte seulement de la charge rejetée par le réseau mineur de conduites, ce qui suppose que la charge provenant du réseau majeur est équivalente pour tous les scénarios. Pour chaque scénario, les charges annuelles ont été calculées ainsi :

$$Charge_i = C_{ruis, i} V_{ruis} + C_{uni, i} Vdeb_{uni, i} \quad (3)$$

où :  $Charge_i$  = charge totale du polluant  $i$  (UFC ou mg/saison);

$C_{ruis, i}$  = concentration du polluant  $i$  dans les eaux de ruissellement (UFC ou mg/m<sup>3</sup>);

$V_{ruis}$  = volume de ruissellement rejeté vers les milieux récepteurs en une saison (m<sup>3</sup>/saison);

$C_{uni, i}$  = concentration du polluant  $i$  dans les eaux unitaires (mélange d'eaux usées et de ruissellement) (UFC ou mg/m<sup>3</sup>);

$Vdeb_{uni, i}$  = volume de débordement vers les milieux récepteurs en une saison (m<sup>3</sup>/saison).

Les concentrations retenues sont résumées au Tableau 2. Ces concentrations sont tirées de MDDEFP et MAMROT (2011, Tableau 2.1). Pour les scénarios 3 et 4,  $V_{ruis} = 0$  et  $Vdeb_{uni, i}$  correspond à la valeur calculée tel que décrit à la section précédente (3.2.2). Pour les scénarios 1 et 2,  $V_{ruis} = VMr_{ps}$  et  $Vdeb_{uni, i}$  est calculé selon la procédure décrite à la section précédente (3.2.2).

**Tableau 2 - Concentrations prises en compte pour le calcul des charges**

	CF (UFC/100 ml)	MES (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Pb (µg/L)
Réseaux unitaire et pseudo-sanitaire	1 000 000	550	220	600
Réseau pluvial	21 000	101	10	144

Ces concentrations supposent qu'aucun système d'amélioration de la qualité des eaux pluviales rejetées au milieu récepteur n'est installé sur les conduites pluviales des réseaux pseudo-séparés. Cette hypothèse va à l'encontre des nouvelles exigences du MDDEFP, qui n'étaient pas encore en vigueur lorsque les travaux présentés dans ce rapport ont commencé. Toutefois, elle permet d'apprécier l'impact des eaux de ruissellement lorsque rejetées sans traitement préalable dans le milieu récepteur.

### 3.3 Description des secteurs à l'étude, des modèles et des données disponibles

La localisation des quatre secteurs à l'étude est présentée à la Figure 1. Les caractéristiques principales des secteurs sont résumées au Tableau 3.

**Tableau 3 - Principales caractéristiques des secteurs à l'étude**

	U040	U047	Beauport	Ouest
Modèle SWMM	U040_ultime_diagnostic.Rev8	U047_rev23	5ESTActuel-v22d-Proj-Min-2009	7OUULTIME_Ave cInterventions_2009_5minCoul_150 Epure
Superficie (ha)	40	249	1 149	1 241
Longueur conduites unitaires (km)	4,6	11	66	120
Longueur conduites pseudo-sanitaires (km)	1,6	30	49	3
Imperméabilité (%)	40	22	76	35
Débit domestique moyen (L/s)	6	6	582	635
Débit d'infiltration (L/s)	9	21	790	776



**Figure 1 - Localisation des secteurs à l'étude**

Pour les secteurs U040 et U047, les débits domestiques et d'infiltration sont ceux donnés dans BPR (2012) en amont des ouvrages U040 et U047, respectivement, valeurs qui sont également utilisées dans les modèles SWMM. Pour les secteurs Beauport et Ouest, les valeurs ont été extraites des modèles SWMM fournis par la Ville (modèles qui ont été utilisés antérieurement pour l'étude des phases IV et V du programme d'assainissement des eaux usées de la Ville de Québec).

En ce qui concerne le secteur U040, le modèle fourni par la Ville de Québec intégrait à l'origine toutes les conduites en amont de l'ouvrage U040 ainsi que celles en amont de l'ouvrage U025. Un travail de redécoupage du modèle « U040\_ultime\_diagnostic.Rev8 » a été réalisé afin d'isoler le secteur en amont de l'ouvrage U040 et c'est ce modèle redécoupé qui a été utilisé pour nos analyses.

Le Tableau 4 résume un ensemble de choix qui ont dû être faits pour l'analyse de chacun des secteurs. Le choix du pluviomètre associé à chaque secteur s'est basé sur la distance entre le secteur et le pluviomètre, qui doit être minimale, et le nombre de données manquantes, qui ne doit pas être trop élevé. Le choix des années prises en compte pour les analyses s'est aussi

basé sur le nombre de données manquantes, tel que présenté en Annexe (section 8.1). Le pourcentage du ruissellement qui serait capté par les conduites pseudo-sanitaires en cas de séparation du réseau a été estimé tel que décrit à la section 3.2.2. Les exutoires correspondent aux localisations pour lesquelles les débits d'eau unitaires (pour les scénarios 1 et 2), les débits d'eau d'origine pluviale du réseau mineur (pour les scénarios 3 et 4) et les débits pseudo-sanitaires (pour les scénarios 3 et 4) sont pris en compte. Les exutoires choisis pour chacun des secteurs correspondent aux exutoires où la quasi-totalité des volumes de débordement du réseau unitaire surviennent en situation actuelle. Il est à noter que, tel que mentionné précédemment, les débits du réseau majeur ne sont pas pris en compte dans la comparaison, car on les suppose égaux pour tous les scénarios.

**Tableau 4 - Données utilisées pour les analyses**

	U040	U047	Beauport (Phase IV)	Ouest (Phase V)
Pluviomètre	U03A	U046	U921	U906
Années	2005, 2008-09, 2011-12	2005, 2007, 2009, 2011-12	2005, 2007- 2009, 2011-12	2005-08, 2011
Ruissellement dans pseudo- sanitaire (%)	35	35	35	50
Exutoires	U040	U047	1) Déry 2) De la station	1) TP1280 2) TPLonchamp585 3) TPL570 et 4) TP573

Pour chaque secteur à l'étude, en situation actuelle, les volumes de rétention nécessaires pour les scénarios S1 et S3 ont été calculés tel que présenté en Annexe (sections 8.2. et 8.3). Les résultats de ce calcul sont résumés au Tableau 5.

**Tableau 5 - Volumes de rétention calculés pour les scénarios S1 (bassin) et S3 (réservoir) pour chacun des secteurs**

	U040	U047	Beauport	Ouest
Réservoir de rétention (m <sup>3</sup> )	762	6 174	13 364	63 914
Bassin d'orage (m <sup>3</sup> )	4 964	13 700	400 000	126 000

### 3.4 Travaux initiés en raison d'une problématique environnementale

Les analyses présentées dans cette section représentent une situation pour laquelle des travaux de séparation sont envisagés sur un secteur de drainage entier, en raison d'une problématique de débordements trop fréquents (problématique environnementale). Les solutions possibles à cette problématique sont soit de séparer le réseau ou soit de construire un réservoir de rétention pour réduire la fréquence de débordement du réseau unitaire. On suppose donc, pour les scénarios S1 et S2, que la séparation est réalisée pour le secteur en entier en une seule année. Pour ces scénarios, une conduite sanitaire est ajoutée à proximité de chaque conduite unitaire. Les conduites unitaires changent de fonction pour devenir des conduites pluviales, et celles qui sont désuètes sont remplacées (selon un taux de désuétude qui varie, dans les analyses, de 0 à 100 % de la longueur des conduites unitaires). Pour les scénarios S3 et S4, seule la rénovation de l'unitaire est considérée, selon divers pourcentages de remplacement allant de 0 à 100 % en fonction de la désuétude des conduites unitaires en place, en plus de la construction du réservoir de rétention pour le scénario S4.

L'objectif de cette évaluation est d'estimer à partir de quel pourcentage de désuétude du réseau unitaire il devient plus avantageux de séparer le réseau en entier que de rénover les conduites unitaires qui en ont besoin et de construire un réservoir de rétention, dans le cas où la sous-performance environnementale du secteur requiert une intervention immédiate. Puisque l'on considère que les travaux se font d'un seul coup (c'est-à-dire en une année ou un peu plus), la comparaison se base sur les coûts totaux des travaux. Pour les scénarios S3 et S4, on fait l'hypothèse que les conduites de la portion déjà séparée des secteurs à l'étude n'ont pas besoin d'être remplacées à court terme.

#### 3.4.1 Comparaison des coûts sans considération des changements de volumes acheminés à la station de traitement

Dans cette section, on ne considère que les coûts liés aux travaux.

Ainsi, le coût d'installation et/ou de remplacement des conduites est estimé à l'aide de l'équation 4 pour le scénario de pseudo-séparation (S2) :

$$C_{ps} = T L_u (C_1 + C_s) + (1 - T) L_u C_1 \quad (4)$$

où :  $C_{ps}$  = coût total pour le scénario de pseudo-séparation sans bassin d'orage (\$);  
 $T$  = proportion de conduites unitaires à remplacer en raison de leur désuétude;  
 $L_u$  = longueur de conduites unitaires (m);  
 $C_1$  = coût de remplacement d'une seule conduite = 780 \$/m;  
 $C_s$  = coût supplémentaire pour l'installation d'une seconde conduite dans la tranchée  
 = 320 \$/m.

Pour le scénario de pseudo-séparation avec bassin d'orage (S1), le coût total est donné par l'équation 5 :

$$C_{psbo} = T L_u (C_1 + C_s) + (1 - T) L_u C_1 + C_{bo} \quad (5)$$

où :  $C_{psbo}$  = coût total pour le scénario de pseudo-séparation avec bassin d'orage (\$);  
 $C_{bo}$  = coût de construction du bassin d'orage (selon les coûts unitaires et les volumes présentés aux sections 3.2.1 et 3.3 respectivement) (\$).

En ce qui concerne le scénario de *statu quo* (S4), son coût est donné par :

$$C_{sq} = T L_u C_1 \quad (6)$$

où :  $C_{sq}$  = coût total pour le scénario de *statu quo* (\$).

Enfin, pour le scénario qui conserve un réseau unitaire mais pour lequel on construit un réservoir de rétention (S3), le coût total est :

$$C_{urr} = T L_u C_1 + C_{rr} \quad (7)$$

où :  $C_{urr}$  = coût total pour le scénario de réseau unitaire avec réservoir de rétention (\$);  
 $C_{rr}$  = coût de construction du réservoir de rétention (tel que spécifié à la section selon les coûts unitaires et les volumes présentés aux sections 3.2.1 et 3.3 respectivement) (\$).

Cette analyse a été réalisée pour des taux de désuétude du réseau unitaire allant de 0 à 100 %. Bien entendu, il est irréaliste de compléter en une seule année le remplacement et la séparation

de toutes les conduites sur un secteur de plusieurs hectares. Cependant, les résultats de cette analyse peuvent donner une idée de ce qu'on pourrait obtenir sur des secteurs plus restreints aux caractéristiques similaires, puisque toutes les variables prises en compte peuvent être réduites par un facteur d'échelle équivalent au rapport des surfaces. Les résultats de l'analyse sont présentés sous forme de graphiques aux Figures 2 à 5.

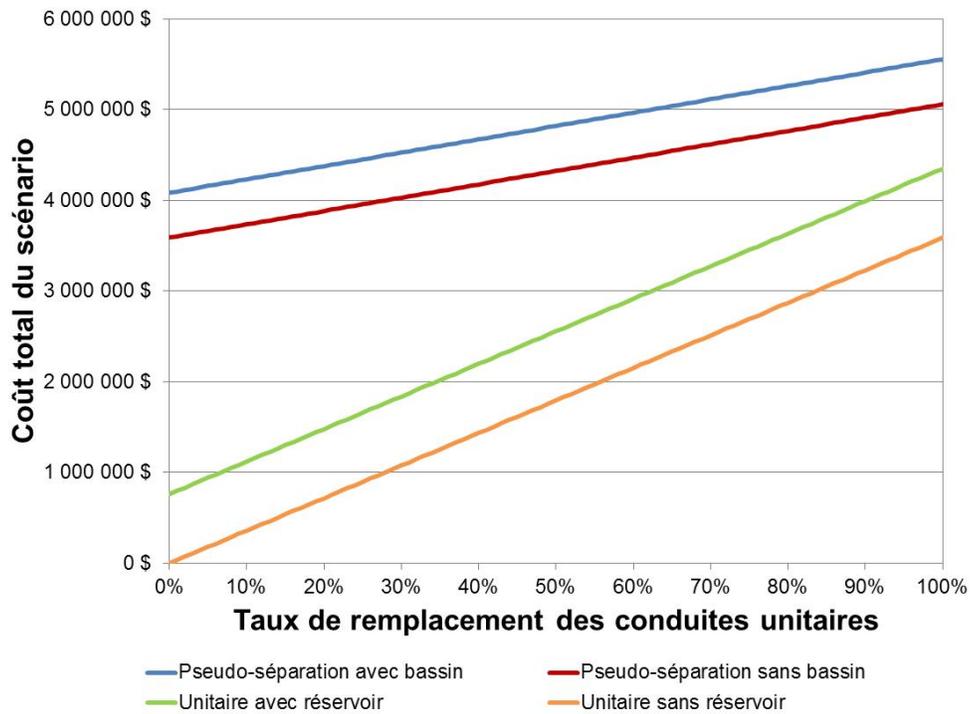


Figure 2 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur U040

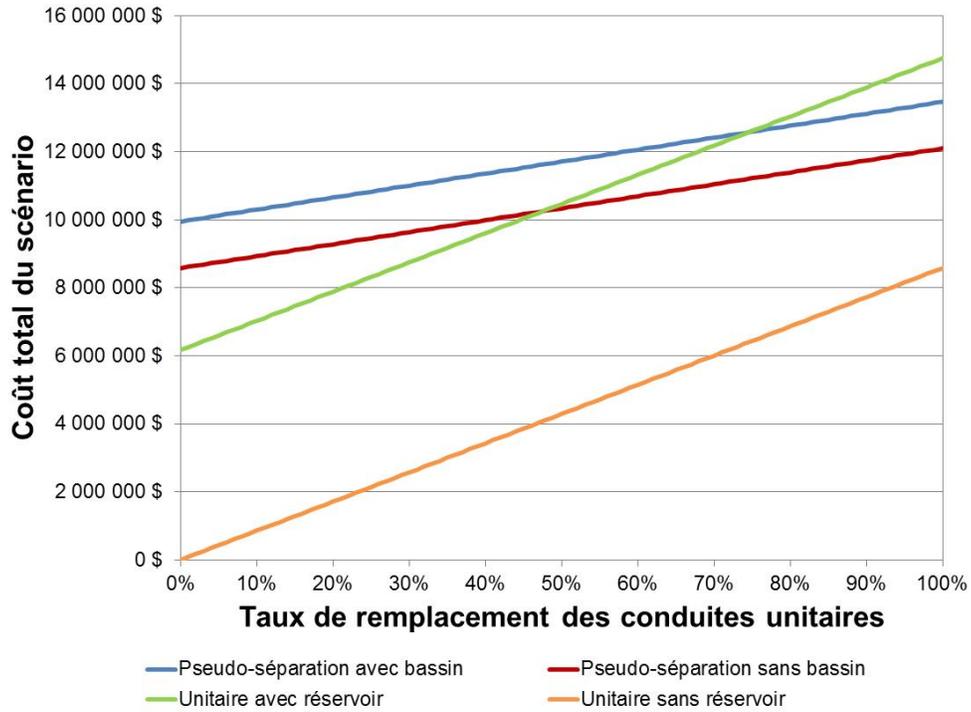


Figure 3 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur U047

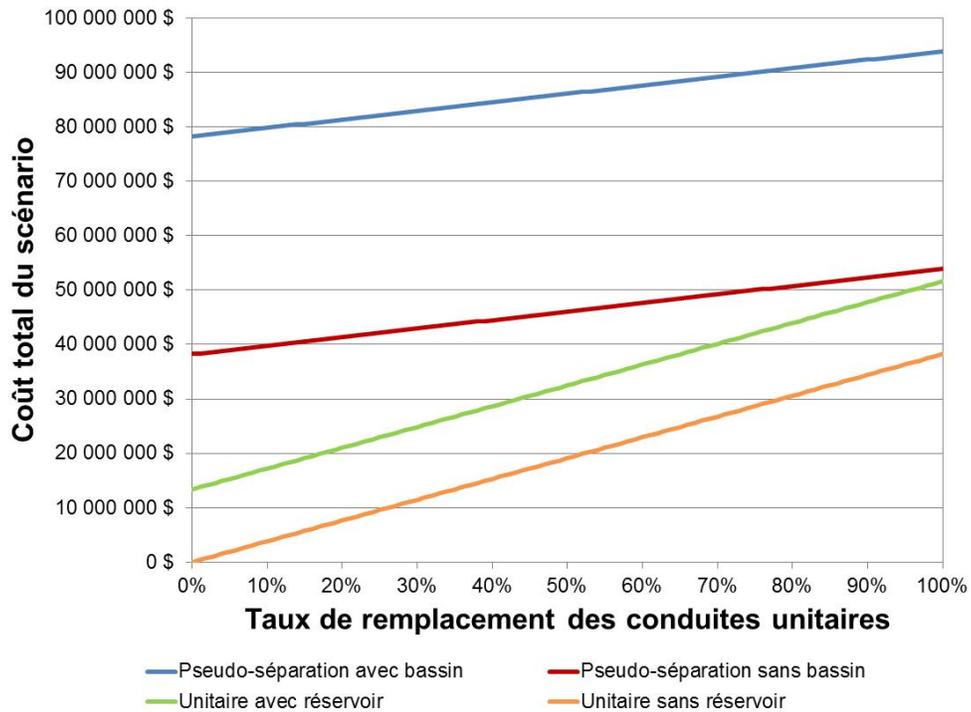
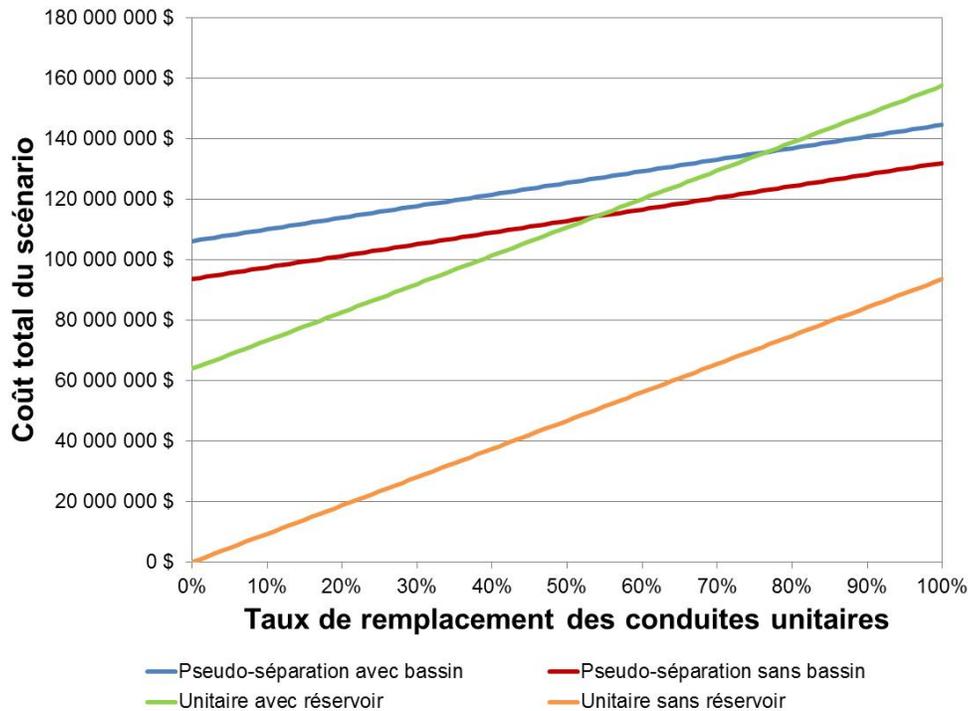


Figure 4 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur Beauport



**Figure 5 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur Ouest**

Les figures précédentes montrent tout d'abord que les résultats obtenus sont différents d'un secteur à l'autre. Ainsi, pour les secteurs U040 et Beauport, il est toujours plus avantageux de conserver un réseau unitaire (et de construire un réservoir de rétention) que de procéder à la séparation des réseaux, et ce même si 100 % des conduites du réseau unitaire ont besoin d'être remplacées pour des raisons structurales. Pour les secteurs U047 et Ouest, par contre, le maintien du réseau unitaire devient plus cher que la pseudo-séparation du réseau dès lors que respectivement 48 % et 54 % ou plus des conduites unitaires doivent être remplacées pour des raisons structurales. Ces différences de résultat entre les secteurs U040 et Beauport, d'une part, et U047 et Ouest, d'autre part, peuvent s'expliquer par 1) le fait que le secteur U047 est déjà séparé à 75 % et 2) le fait que le volume de rétention à construire pour le secteur Ouest est très élevé, en raison de la configuration particulière du réseau desservant ce secteur.

### 3.4.2 Comparaison des coûts en tenant compte des changements de volumes acheminés à la station de traitement

Dans cette section, on ajoute aux coûts liés aux travaux, les coûts supplémentaires liés au traitement des eaux usées, par rapport au scénario de *statu quo* (S3). Puisque les coûts associés au traitement sont calculés sur une base annuelle, on fait le choix d'ajouter, aux coûts

totaux des travaux calculés à la section précédente, les montants économisés sur 20 ans grâce à la séparation des réseaux (S1 et S2) ou les coûts sur 20 ans du traitement des volumes d'eau contenus dans les réservoirs de rétention (scénario S4). Ainsi, le coût total de chaque scénario est calculé à l'aide des équations 8 à 11 suivantes.

$$C_{ps+V} = C_{ps} - 20 * \Delta VSt_{ps} * cuntr \quad (8)$$

où :  $C_{ps+V}$  = coût total pour le scénario de pseudo-séparation sans bassin d'orage en tenant du coût associé aux volumes en moins acheminés à la station de traitement des eaux usées (\$);

$C_{ps}$  = coût total pour le scénario de pseudo-séparation sans bassin d'orage sans tenir compte du coût du traitement des eaux usées (calculé selon l'équation 4) (\$);

$\Delta VSt_{ps}$  = réduction de volume acheminé à la station de traitement suite à la pseudo-séparation du réseau (m<sup>3</sup>/an);

$cuntr$  = coût unitaire du traitement des eaux usées (0,456 \$/m<sup>3</sup>).

$$C_{psbo+V} = C_{psbo} - 20 * \Delta VSt_{ps} * cuntr \quad (9)$$

où :  $C_{psbo+V}$  = coût total pour le scénario de pseudo-séparation avec bassin d'orage en tenant du coût associé aux volumes en moins acheminés à la station de traitement des eaux usées (\$);

$C_{psbo}$  = coût total pour le scénario de pseudo-séparation avec bassin d'orage sans tenir compte du coût du traitement des eaux usées (calculé selon l'équation 5) (\$).

$$C_{sq+V} = C_{sq} \quad (10)$$

où :  $C_{sq+V}$  = coût total pour le scénario de *statu quo* en tenant du coût de traitement des eaux usées (\$);

$C_{sq}$  = coût total pour le scénario de *statu quo* sans tenir compte du coût du traitement des eaux usées (calculé selon l'équation 6) (\$).

$$C_{urr+V} = C_{urr} + 20 * V_{stock} * cuntr \quad (11)$$

où :  $C_{urr+V}$  = coût total pour le scénario de réseau unitaire avec réservoir de rétention en tenant du coût associé au traitement des volumes supplémentaires acheminés à la station de traitement des eaux usées (\$);

$C_{urr}$  = coût total pour le scénario de réseau unitaire avec réservoir de rétention sans tenir compte du coût du traitement des eaux usées (calculé selon l'équation 7) (\$).

$V_{stock}$  = total du volume stocké en temps de pluie dans le réservoir de rétention (m<sup>3</sup>/an).

Les résultats obtenus pour des taux de désuétude des conduites unitaires de 0 à 100 % sont illustrés aux Figures 6 à 9.

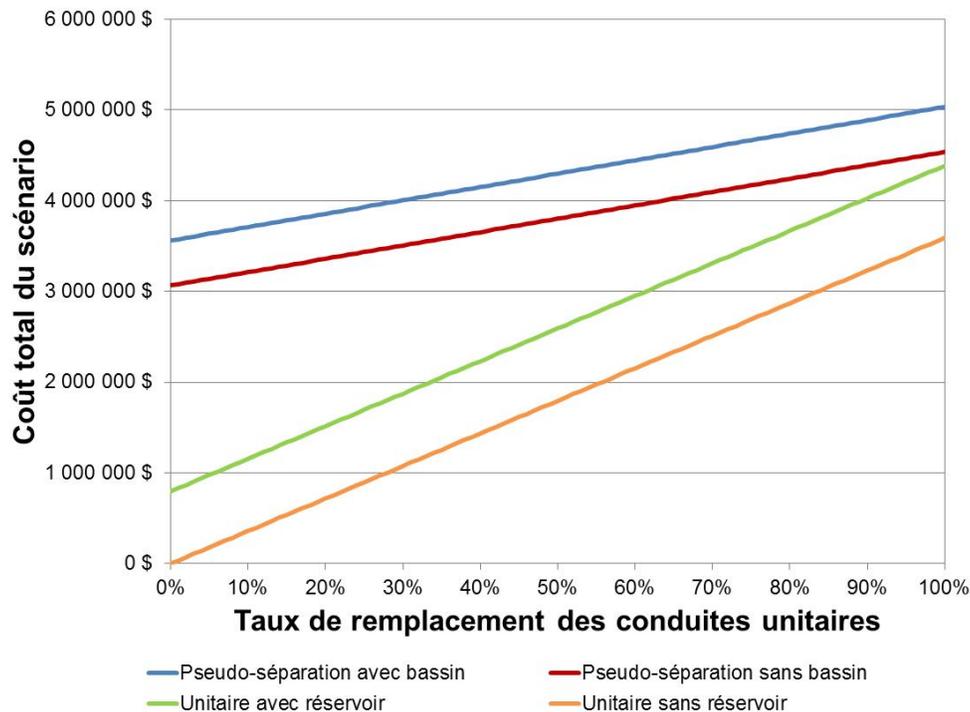


Figure 6 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur U040 en incluant le coût pour le traitement des eaux usées

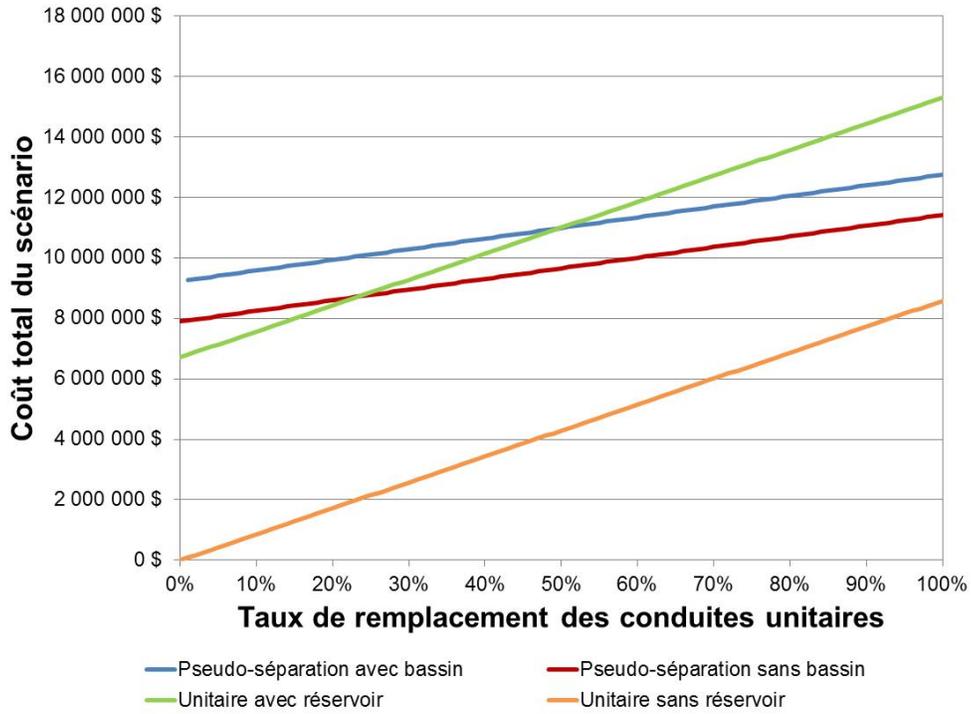


Figure 7 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur U047 en incluant le coût pour le traitement des eaux usées

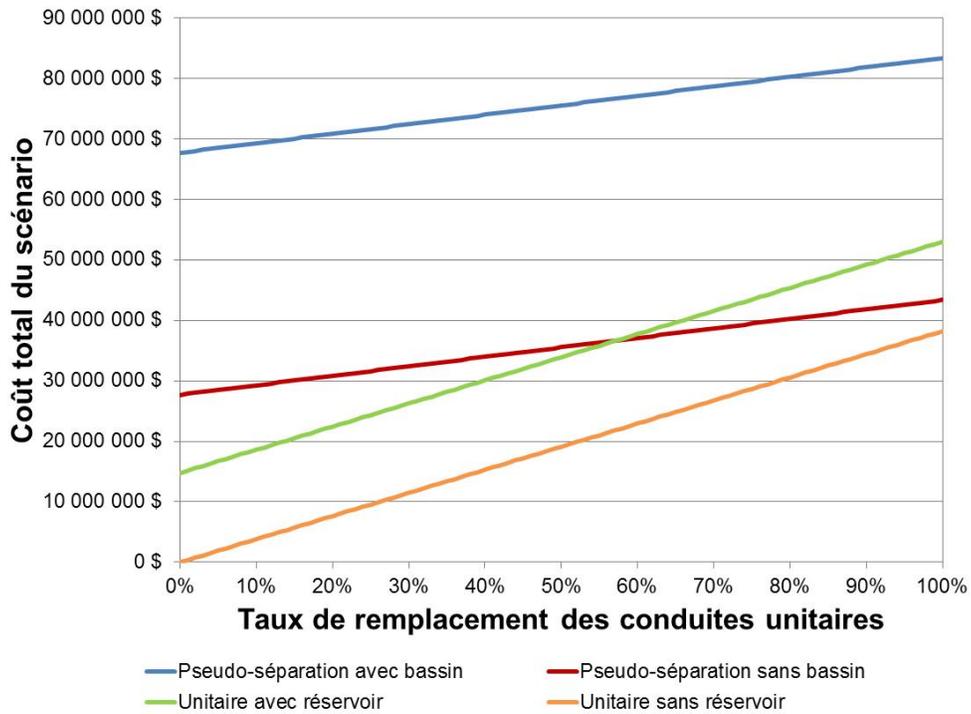
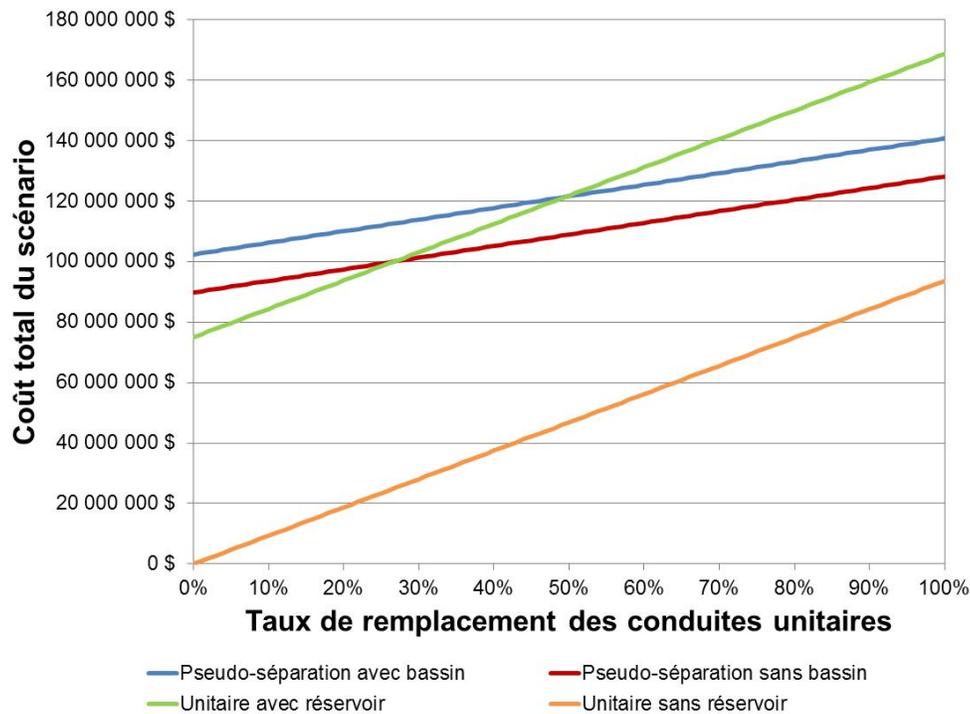


Figure 8 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur Beauport en incluant le coût pour le traitement des eaux usées



**Figure 9 - Comparaison du coût total des scénarios pour le secteur Ouest en incluant le coût pour le traitement des eaux usées**

Le fait de tenir compte du coût de traitement des eaux usées entraîne une réduction du coût du scénario de séparation et une augmentation du coût du scénario selon lequel le réseau unitaire est conservé et un réservoir de rétention est construit. Même en tenant compte des coûts associés au traitement des eaux usées, le scénario S4 (unitaire avec réservoir) demeure toujours moins coûteux que le scénario de pseudo-séparation pour le secteur U040, même avec un taux de désuétude de 100 % des conduites unitaires. Pour les secteurs U047, Beauport et Ouest cependant, il devient moins coûteux de procéder à la séparation dès lors que respectivement 24 %, 58 % ou 27 % ou plus des conduites unitaires doivent être remplacées pour des raisons structurales.

### 3.4.3 Comparaison de la performance environnementale

La performance environnementale des scénarios a été évaluée tel que décrit précédemment à la section 3.2.3 (seuls les rejets des réseaux mineurs sont considérés). Les résultats ne sont pas présentés pour le scénario de pseudo-séparation avec bassin d'orage pour plusieurs raisons, principalement liées à la difficulté d'évaluer l'impact du bassin d'orage sur les charges

déversées. Il aurait été possible de calculer un facteur d'enlèvement des charges pour les eaux rejetées par le réseau pseudo-séparé, mais cela aurait supposé qu'un bassin d'orage soit présent à tous les points de rejet au milieu récepteur, ce qui est peu réaliste. Par ailleurs, le facteur d'enlèvement est fortement lié au mode d'opération des bassins et peut donc être très variable d'une situation à l'autre.

Les charges saisonnières moyennes déversées vers les milieux récepteurs pour les années prises en compte sont présentées pour les quatre secteurs et les quatre contaminants à l'étude au Tableau 6. La solution la plus avantageuse entre les deux scénarios possibles, soit le maintien d'un réseau unitaire avec la construction d'un réservoir de rétention ou la pseudo-séparation du réseau, apparaît en grisé dans ce tableau. Les résultats pour le réseau unitaire sans réservoir de rétention sont présentés à titre de comparaison seulement. Rappelons que les résultats présentés pour le réseau pseudo-séparé supposent qu'aucun système d'amélioration de la qualité des eaux pluviales rejetées au milieu récepteur n'est installé à l'exutoire des conduites pluviales de ce réseau.

Il convient de noter ici que le calcul des charges déversées présentées dans cette section suppose bien évidemment que les travaux de séparation sont entièrement complétés sur tout le secteur à l'étude. La situation ayant cours pendant la durée des travaux de séparation se situera entre les résultats de l'unitaire et du pseudo-séparé, en fonction de la façon dont sont planifiés les travaux de séparation.

La performance environnementale des scénarios a également été comparée en modifiant certaines caractéristiques des secteurs à l'étude, afin de vérifier dans quelle mesure les résultats de la comparaison peuvent varier pour des secteurs aux caractéristiques différentes. Les modifications apportées consistent à supposer : 1) que le pourcentage d'imperméabilité de chaque secteur à l'étude est de 75 %; et 2) qu'une proportion de 50 % du ruissellement est drainé par les conduites pseudo-sanitaires dans les scénarios de pseudo-séparation. Pour la première modification, on a tout simplement fixé à 75 % la valeur du pourcentage d'imperméabilité de tous les sous-bassins des secteurs à l'étude. Pour la seconde, on a considéré que  $Prop_{dom} = 50\%$  au lieu d'utiliser les valeurs mentionnées au Tableau 4. Les résultats obtenus pour ces analyses complémentaires sont présentés en Annexe (section 8.5, Tableaux 15 et 16).

On note à l'examen du Tableau 6 que la solution du maintien d'un réseau unitaire (avec réservoir de rétention) est plus performante d'un point de vue environnemental que la pseudo-séparation pour tous les secteurs, sauf pour les coliformes et la DBO<sub>5</sub> pour le secteur U040. L'augmentation de l'imperméabilité ou de la proportion des eaux de ruissellement qui rejoint le réseau pseudo-domestique ont peu d'impact sur ce résultat (voir section 8.5 en Annexe)

**Tableau 6 - Charge moyenne déversée dans le milieu récepteur du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre pour les différents scénarios (la solution la plus avantageuse entre les scénarios S2 et S3 apparaît en grisé)**

U040 – Réel			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	1 E+14	9 E+13	2 E+13
MES (mg/saison)	7 E+09	5 E+09	7 E+09
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	3 E+09	2 E+09	7 E+08
Pb (µg/saison)	8 E+09	6 E+09	1 E+10
U047 – Réel			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	8 E+14	2 E+14	5 E+14
MES (mg/saison)	6 E+10	3 E+10	6 E+10
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	2 E+10	5 E+09	1 E+10
Pb (µg/saison)	7 E+10	4 E+10	7 E+10
Beauport – Réel			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	2 E+15	3 E+14	5 E+14
MES (mg/saison)	1 E+11	1 E+10	2 E+11
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	4 E+10	6 E+09	2 E+10
Pb (µg/saison)	1 E+11	2 E+10	2 E+11
Ouest – Réel			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	6 E+15	1 E+15	6 E+15
MES (mg/saison)	3 E+11	8 E+10	4 E+11
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	1 E+11	3 E+10	1 E+11
Pb (µg/saison)	4 E+11	8 E+10	5 E+11

Il est également intéressant de constater qu'en ce qui concerne les MES et le plomb, la solution unitaire sans réservoir de rétention peut même être plus performante que la solution de pseudo-séparation. L'ajout de dispositifs pour améliorer la qualité des eaux pluviales rejetées au milieu récepteur aux exutoires pluviaux du réseau pseudo-séparé pourrait possiblement permettre de renverser ce constat.

### 3.5 Travaux initiés en raison d'une problématique structurale

Dans cette section, on suppose que les travaux sont initiés en raison d'une problématique structurale et non en raison d'une problématique de débordements trop fréquents. Les analyses qui y sont réalisées visent à déterminer s'il est avantageux de procéder à la séparation du réseau lorsque que des conduites unitaires doivent être remplacées en raison de leur désuétude. On suppose donc, dans les calculs, que la séparation se fait au même rythme que les travaux requis sur le réseau unitaire, en raison de la détérioration structurale. Les coûts sont comparés sur une base annuelle. Ces coûts ne comprennent pas le gain associé à la réduction du volume d'eau acheminé à la station de traitement des eaux usées suite à la pseudo-séparation du réseau (scénarios S1 et S2) ni le coût supplémentaire de traitement des eaux usées (scénario S4), puisque la séparation se fait graduellement, d'année en année, et pas nécessairement en débutant par l'aval du réseau mais plutôt au gré des travaux de remplacement planifiés pour le secteur.

Le coût de construction des bassins et réservoirs de rétention est ramené à une base annuelle en divisant le coût de construction par 50. Ceci est une façon simplifiée de considérer une analyse sur un horizon temporel de 50 ans, sans tenir compte des taux d'intérêt.

Afin d'être cohérent avec cette dernière hypothèse, on devrait considérer un taux de remplacement annuel de 2 % de la longueur totale des conduites, ce qui correspond au renouvellement complet des conduites sur une période de 50 ans. Cependant, on a analysé divers taux de remplacement annuel variant de 0 à 10 % de la longueur totale des conduites. Pour les scénarios S3 et S4, les coûts annuels de remplacement des conduites sont calculés ainsi :

$$C_{un-an} = T_{an} (L_u + L_s) C_1 \quad (12)$$

où :  $C_{un-an}$  = coût annuel de remplacement des conduites pour les scénarios unitaires (\$/an);  
 $T_{an}$  = pourcentage annuel de remplacement (variant de 0 à 10 %) (proportion/an);  
 $L_u$  = longueur de conduites unitaires (m);  
 $L_s$  = longueur de conduites sanitaires (m);  
 $C_1$  = coût de remplacement d'une seule conduite = 780 \$/m.

Pour les scénarios S1 et S2, les coûts annuels de remplacement des conduites sont calculés avec l'équation suivante :

$$C_{ps-an} = T_{an} (L_s C_1 + L_u (C_1 + C_s)) \quad (13)$$

où :  $C_{ps-an}$  = coût annuel de remplacement des conduites pour les scénarios de pseudo-séparation (\$/an);  
 $T_{an}$  = pourcentage annuel de remplacement (variant de 0 à 10 %) (proportion/an);  
 $L_s$  = longueur de conduites sanitaires (m);  
 $C_1$  = coût de remplacement d'une seule conduite = 780 \$/m;  
 $L_u$  = longueur de conduites unitaires (m);  
 $C_s$  = coût supplémentaire pour l'installation d'une seconde conduite dans la tranchée = 320 \$/m.

### 3.5.1 Modification des sous-bassins et réseaux

Le coût et la performance environnementale des divers scénarios sont comparés, dans un premier temps, sur la base des modèles SWMM fournis par la Ville de Québec, qui représentent la situation actuelle pour les secteurs à l'étude. Les scénarios sont ensuite comparés en modifiant certaines caractéristiques des secteurs à l'étude, afin de vérifier dans quelle mesure les résultats de la comparaison peuvent varier pour des secteurs aux caractéristiques différentes. Les modifications apportées consistent à supposer : 1) que le pourcentage d'imperméabilité de chaque secteur à l'étude est de 75 %; et 2) qu'une proportion de 50 % du ruissellement est drainé par les conduites pseudo-sanitaires dans les scénarios de pseudo-séparation. Pour la première modification, on a tout simplement fixé à 75 % la valeur du

pourcentage d'imperméabilité de tous les sous-bassins des secteurs à l'étude. Pour la seconde, on a considéré que  $Prop_{dom} = 50\%$  au lieu d'utiliser les valeurs mentionnées au Tableau 4.

Les Tableaux 7 et 8 présentent un résumé des résultats obtenus pour des taux de remplacement annuel de 2 % et 10 % respectivement, pour les scénarios S2 et S3. Les résultats obtenus pour les autres taux de remplacement et pour tous les scénarios apparaissent en annexe (section 8.4). Les résultats des scénarios S1 et S4 ne sont présentés qu'en annexe puisque : i) en pratique, le scénario S4 ne pourrait pas être réalisé étant donné qu'il ne respecte pas les exigences environnementales; et ii) dans le scénario S1, le volume du bassin d'orage est dimensionné de façon à recevoir également le ruissellement du réseau majeur. Un tel bassin devrait en principe être construit aussi si le scénario unitaire est choisi.

En analysant les résultats des Tableaux 7 et 8, on constate que le choix entre séparation ou non du réseau unitaire sur la base des coûts conduit à des solutions différentes selon les secteurs et les taux annuels de remplacement. Ainsi, pour un taux de remplacement annuel de 2 %, la solution de séparation devrait être privilégiée pour les secteurs U047 et Ouest, mais la solution de non-séparation est la moins coûteuse pour les secteurs U040 et Beauport. Pour le secteur U047, ceci peut s'expliquer par le fait que le réseau de ce secteur est déjà séparé à environ 75 %; les coûts pour compléter la séparation sont donc peu élevés par rapport aux coûts de construction du réservoir de rétention. Par ailleurs, en raison de la configuration du réseau dans le secteur Ouest, le volume de rétention requis pour satisfaire les exigences de rejet est de  $63\,914\text{ m}^3$  pour ce secteur, ce qui désavantage fortement le maintien du réseau unitaire. Pour un taux de remplacement annuel de 10 %, cependant, la solution unitaire avec réservoir de rétention est privilégiée pour les quatre secteurs.

On note par ailleurs que l'augmentation du pourcentage d'imperméabilité, pour un même secteur, tend à favoriser la solution de pseudo-séparation par rapport au maintien d'un réseau unitaire, du moins pour un taux annuel de remplacement de 2 %. Ceci s'explique par l'accroissement du volume du réservoir de rétention requis lorsque l'imperméabilité augmente. À l'examen des résultats détaillés présentés en annexe (section 8.4), on note également que la solution de maintien du réseau unitaire est de plus en plus avantageuse lorsque le taux annuel de remplacement des conduites augmente. Ceci est évident puisque, lorsque le pourcentage annuel de remplacement de conduites augmente au-delà d'une certaine valeur, le coût annuel de séparation des conduites vient à surpasser le coût annualisé du réservoir de rétention. Enfin,

pour les secteurs et taux de remplacement étudiés, le fait de considérer que 50 % des eaux de ruissellement sont acheminées vers le réseau pseudo-domestique (plutôt que 35 % pour les secteurs U040, U047 et Beauport) n'a pas d'impact sur la solution la moins coûteuse.

**Tableau 7 - Comparaison des coûts pour les scénarios S2 et S3 en supposant un taux de remplacement annuel de 2 %; la cellule en grisé représente la solution la moins coûteuse**

U040			
	Situation réelle	Imperméabilité à 75 %	50 % dans pseudo-sanitaire
Séparation sans BO			
Unitaire avec BR			
U047			
	Situation réelle	Imperméabilité à 75 %	50 % dans pseudo-sanitaire
Séparation sans BO			
Unitaire avec BR			
Beauport			
	Situation réelle	Imperméabilité à 75 %	50 % dans pseudo-sanitaire
Séparation sans BO			
Unitaire avec BR			
Ouest			
	Situation réelle	Imperméabilité à 75 %	50 % dans pseudo-sanitaire
Séparation sans BO			
Unitaire avec BR			

**Tableau 8 - Comparaison des coûts pour les scénarios S2 et S3 en supposant un taux de remplacement annuel de 10 %; la cellule en grisé représente la solution la moins coûteuse**

U040			
	Situation réelle	Imperméabilité à 75 %	50 % dans pseudo-sanitaire
Séparation sans BO			
Unitaire avec BR			
U047			
	Situation réelle	Imperméabilité à 75 %	50 % dans pseudo-sanitaire
Séparation sans BO			
Unitaire avec BR			
Beauport			
	Situation réelle	Imperméabilité à 75 %	50 % dans pseudo-sanitaire
Séparation sans BO			
Unitaire avec BR			
Ouest			
	Situation réelle	Imperméabilité à 75 %	50 % dans pseudo-sanitaire
Séparation sans BO			
Unitaire avec BR			

### 3.6 Synthèse

Les scénarios de maintien d'un réseau unitaire et de pseudo-séparation ont été comparés dans ce chapitre par simulation hydrologique / hydraulique sur quatre grands secteurs urbains. Cette comparaison a été réalisée de trois façons distinctes, soit : 1) en comparant les coûts totaux des scénarios, dans le cas où les travaux sont complétés en une année, principalement pour corriger une sous-performance environnementale tout en considérant qu'une portion du réseau doit être remplacée en raison de déficiences structurales; 2) en comparant la performance environnementale des scénarios lorsque la séparation d'un secteur est complétée en entier; et 3) en comparant les coûts annuels des scénarios, pour divers pourcentages annuels de remplacement du réseau, dans le cas où les travaux sont initiés pour des raisons de désuétude structurale uniquement.

Il ressort de ces analyses que le meilleur choix entre pseudo-séparation ou non du réseau varie non seulement en fonction du secteur urbain étudié, mais également de la méthode de comparaison choisie. D'un point de vue environnemental, la solution du maintien d'un réseau unitaire avec construction d'un réservoir de rétention s'avère presque toujours préférable à la pseudo-séparation du réseau, lorsque les eaux collectées par les conduites pluviales sont rejetées au milieu récepteur sans aucun traitement. Les conclusions sont plus mitigées lorsque les scénarios sont comparés sur la base de leurs coûts. Ainsi, lorsque les travaux sont initiés principalement pour répondre à une problématique environnementale et qu'ils sont comparés sur la base de leurs coûts totaux, le maintien d'un réseau unitaire (et la construction d'un réservoir) est en général plus avantageux. Par contre, la pseudo-séparation est préférable pour deux des secteurs étudiés lorsque le pourcentage de conduites unitaires à remplacer pour des raisons structurales devient supérieur à environ 50 %. Si l'on tient compte, en plus du coût des travaux, des montants économisés en raison de la réduction des volumes d'eaux usées à traiter suite à la séparation des réseaux, la pseudo-séparation devient préférable pour deux des secteurs étudiés lorsque le pourcentage de conduites unitaires à remplacer pour des raisons structurales devient supérieur à environ 25 %.

Lorsque les travaux sont initiés pour répondre à une problématique structurale et ne couvrent par un secteur de drainage entier, les coûts annuels de la pseudo-séparation sont plus avantageux pour deux des quatre secteurs étudiés avec un taux de remplacement annuel de

2 %, et elle le devient pour tous les secteurs à l'étude avec un taux de remplacement annuel de 0,5 %. Par contre, le maintien du réseau unitaire est la solution la plus avantageuse pour tous les secteurs lorsqu'un taux de remplacement annuel de 10 % est considéré. Or, si la pseudo-séparation est en réalité réalisée à de faibles taux annuels de remplacement (disons moins de 10 %), alors un réservoir de rétention devra être construit pour contenir les débordements du réseau unitaire en place, en attendant que les travaux de séparation soient complétés. La séparation ne présenterait dans ce cas aucun avantage en ce qui concerne les coûts.

Enfin, rappelons que tous ces résultats ont été obtenus par l'analyse de résultats de simulation sur de grands secteurs urbains, dont la superficie varie de 40 ha à 1 241 ha. Il est bien entendu peu probable que des travaux de rénovation / séparation du réseau soient entrepris d'un seul coup sur des secteurs si étendus, mais les résultats que l'on aurait obtenus sur des secteurs plus restreints, aux caractéristiques similaires, auraient été les mêmes, puisque toutes les variables utilisées dans les calculs auraient été réduites d'un même facteur d'échelle.



## 4 Réfection des rues pour le sous-bassin 1580 du secteur Ouest

À la demande du service de l'Ingénierie de la Ville de Québec, des analyses supplémentaires ont été réalisées sur un petit secteur desservi par un réseau unitaire en vue de déterminer :

- 1) Le volume d'eau (par mètre linéaire) capté par les puisards qui pourrait être détourné vers le réseau pluvial pour la pluie du 7 août 2009 (pluie de conception retenue pour dimensionner le réservoir prévu dans la Phase V du programme d'assainissement).
- 2) Le volume d'eau (par mètre linéaire) capté par les puisards qui pourrait être détourné vers le réseau pluvial pour la pluie synthétique de type Chicago, de durée 3 h, récurrence 1 an en climat futur.

### 4.1 Description du secteur

Ces analyses ont été réalisées pour les avenues James-Lemoyne et Duquet, qui correspondent au sous-bassin 1580 du modèle SWMM « 7OUULTIME\_AvecInterventions\_2009\_5minCoul\_150Epure ». Les rues et conduites retenues pour les analyses sont illustrées en cyan à la Figure 10.

La superficie de ce sous-bassin est de 140 700 m<sup>2</sup>, dont 115 950 m<sup>2</sup> sont perméables et 24 750 m<sup>2</sup> sont imperméables (d'après les informations fournies par la Ville de Québec). La longueur totale des conduites (en cyan sur la Figure 10) est de 1 540 m.



Figure 10 - Sous-bassin 1580 (les rues, conduites et bâtiments pris en compte apparaissent en cyan sur cette figure)

## 4.2 Méthodologie, résultats et discussion

Pour les deux pluies à l'étude, on a supposé que les surfaces perméables ne contribuaient pas au ruissellement. La validité de cette hypothèse a été vérifiée en s'assurant que le rapport du volume total des pertes, simulé par SWMM, sur le ruissellement total, toujours simulé par SWMM, s'approchait du rapport de la superficie perméable sur la superficie imperméable.

En admettant cette hypothèse, alors le volume d'eau capté par les puisards qui pourrait être détourné vers le réseau pluvial en cas de pseudo-séparation est égal à :

$$V_{sep} = V_{ruiss} * \frac{A_{is}}{(A_{ins} + A_{is})} \quad (14)$$

où :

- $V_{sep}$  = volume d'eau qui pourrait rejoindre le réseau pluvial suite à la pseudo-séparation;
- $V_{ruiss}$  = volume total ruisselé en situation actuelle;
- $A_{is}$  = superficie des surfaces imperméables qui pourrait rejoindre le réseau pluvial (rues);
- $A_{ins}$  = superficie des surfaces imperméables qui ne pourrait pas rejoindre le réseau pluvial (toits).

Ceci suppose que tous les toits du secteur sont actuellement drainés par le réseau unitaire et que, suite à la séparation du réseau, ils seraient drainés par les conduites pseudo-sanitaires. Si les eaux de certains toits sont actuellement dirigés vers des surfaces perméables pour s'infiltrer, alors le volume d'eau qu'il serait possible de détourner vers le réseau pluvial en cas de pseudo-séparation serait moindre que celui calculé.

La valeur de  $V_{sep}$  a été calculée par modélisation SWMM pour la pluie du 7 août 2009 et la pluie synthétique de type Chicago - durée 3 h - récurrence 1 an en climat futur, dont les hyétogrammes sont donnés en annexe (section 8.6). Les valeurs de  $A_{is}$  et de  $A_{ins}$  ont été fournies par la Ville, et supposant que les rues couvrent 14 500 m<sup>2</sup>, les entrées d'auto, 7 000 m<sup>2</sup> et les toits pentus drainés vers la rue, 3 150 m<sup>2</sup>.

Le Tableau 9 ici-bas présente les résultats de l'analyse. En considérant un coût moyen de 1 000 \$/m<sup>3</sup> pour la rétention, dans le cas où le réseau unitaire est maintenu, et de 320 \$/m pour l'ajout de conduites, en cas de pseudo-séparation, on constate que le coût pour la rétention est similaire (quelque peu supérieur) au coût du doublage des conduites. Ceci n'est vrai cependant que s'il est nécessaire de remplacer toutes les conduites unitaires du secteur en raison de leur état structural détérioré (c'est-à-dire qu'il est nécessaire de remplacer toutes les conduites pour des raisons autres que celles liées à la fréquence trop élevée des débordements). Par contre, si la séparation ne vise qu'à régler une problématique de débordements et que les conduites sont encore en bon état, on suppose un coût de 780 \$/m pour la séparation des réseaux. On obtient alors, pour les deux pluies considérées, que le coût de la séparation est environ deux fois supérieur au coût du volume de rétention requis si on conserve un réseau unitaire. Ainsi, dans cette situation, le volume d'eau de ruissellement qui pourrait être détourné vers le réseau pluvial en cas de pseudo-séparation ne justifie pas, sur la base des coûts, de procéder à la pseudo-séparation du réseau, que ce soit pour la pluie du 7 août 2009 ou la pluie Chicago 1 an. Cependant, si plusieurs conduites unitaires doivent être remplacées en raison de leur détérioration structurale (soit plus de 1 124 m, pour la pluie du 7 août 2009, et plus de 1 378 m, pour la pluie Chicago), alors il devient avantageux de considérer la pseudo-séparation pour ce sous-bassin de drainage.

**Tableau 9 - Résultats de l'analyse sur le sous-bassin 1580**

$A_{is}$ (m <sup>2</sup> )		24 650
$A_{ins}$ (m <sup>2</sup> )		100
7 août 2009	$V_{ruiss}$ (m <sup>3</sup> )	687
	$V_{sep}$ (m <sup>3</sup> )	684
	$V_{sep}$ (m <sup>3</sup> / m conduites)	0,444
	$V_{sep}$ (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> surfaces imperméables)	0,0276
Chicago 3 h - 1 an - futur	$V_{ruiss}$ (m <sup>3</sup> )	603
	$V_{sep}$ (m <sup>3</sup> )	568
	$V_{sep}$ (m <sup>3</sup> / m conduites)	0,369
	$V_{sep}$ (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> surfaces imperméables)	0,0229

## 5 Impact du rehaussement du niveau de service

À la demande du service de l'Ingénierie de la Ville de Québec, des analyses supplémentaires ont été réalisées sur le secteur U040, desservi par un réseau unitaire, en vue d'évaluer l'impact du rehaussement du niveau de service sur les volumes de rétention requis. Ainsi, il a été demandé de calculer :

- 1) Le volume de rétention requis pour la pluie de conception retenue pour dimensionner le réservoir prévu dans la Phase V de programme d'assainissement (7 août 2009) ou la pluie retenue pour dimensionner le réservoir prévu pour le secteur du régulateur U040 (23 septembre 2009) avec le nombre actuel de puisards.
- 2) Le volume de rétention requis pour la pluie synthétique de type Chicago, de durée 3 h, récurrence 1 an en climat futur, avec le nombre actuel de puisards.
- 3) Le volume de rétention requis pour la pluie synthétique de type Chicago, de durée 3 h, récurrence 1 an en climat futur, avec un nombre de puisards suffisamment élevé pour éviter tout ruissellement de surface pour la pluie synthétique de type Chicago, de durée 3 h, récurrence 2 ans en climat futur.

Pour les points 1 et 2, le volume de rétention requis a été calculé par modélisation SWMM, en utilisant le modèle fourni par la Ville de Québec pour le secteur U040, soit le modèle « U040\_ultime\_diagnostic.Rev8 », redécoupé tel que décrit à la section 3.3. Pour le point 3, il a fallu modifier le modèle afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de ruissellement de surface pour la pluie Chicago, de durée 3 h, récurrence 2 ans en climat futur. Ainsi, la capacité maximale de toutes les conduites identifiées comme « puisard » dans le modèle a été fixée à 1 m<sup>3</sup>/s. Afin de s'assurer que cette capacité était suffisante pour éviter tout ruissellement (quoiqu'on pouvait le croire *a priori* car la capacité fixée, fictive, est très élevée), on a par la suite fixé cette capacité à 5 m<sup>3</sup>/s et les résultats étaient identiques en tout point, pour la pluie Chicago - 3h - 2 ans; ceci confirme qu'une capacité de 1 m<sup>3</sup>/s pour les liens entre les réseaux majeur et mineur est suffisante pour empêcher tout ruissellement de surface pour cette pluie.

Les volumes de rétention calculés sont donnés au Tableau 10. Les volumes qui apparaissent dans ce tableau correspondent, pour chaque pluie, au volume total s'écoulant vers le milieu récepteur en aval de l'ouvrage U040, majoré de 10 %.

**Tableau 10 - Volume de rétention requis en aval du secteur U040, pour différentes pluies et différentes configurations du modèle**

Pluie	Configuration actuelle	Capacité des puisards augmentée
7 août 2009	1 336 m <sup>3</sup>	n.c.
23 septembre 2009	1 102 m <sup>3</sup>	n.c.
Chicago - 3 h - 1 an - futur	1 542 m <sup>3</sup>	1 543 m <sup>3</sup>
Chicago - 3 h - 2 ans - futur	2 694 m <sup>3</sup>	2 706 m <sup>3</sup>

\* n.c. : non calculé

Les résultats présentés au tableau précédent montrent que le rehaussement du niveau de service n'a pas d'impact significatif sur le volume de rétention requis pour la pluie Chicago de récurrence 1 an (durée 3 h en climat futur). Il est possible cependant que le modèle qui nous a été fourni soit conçu de telle façon que les puisards captent l'ensemble du ruissellement pour la pluie Chicago de récurrence 1 an. Si tel est le cas, on devait s'attendre à ce que l'augmentation de la capacité des puisards n'ait aucun impact sur les débits et volumes dirigés vers le réseau, et donc sur les volumes de débordement, pour cette même pluie.

## 6 Conclusions

Les analyses réalisées dans ce rapport visaient à déterminer la meilleure solution entre le maintien d'un réseau d'égout unitaire, avec ajout d'un réservoir de rétention, et la pseudo-séparation de ce réseau, pour quatre secteurs existants. Les solutions ont été comparées en matière de coûts et d'impacts environnementaux sur la base de résultats de simulations. De façon générale, il ressort de ces évaluations que :

- D'un point de vue environnemental, la solution du maintien d'un réseau unitaire avec construction d'un réservoir de rétention s'avère presque toujours préférable à la pseudo-séparation du réseau, lorsque les eaux collectées par les conduites pluviales sont rejetées au milieu récepteur sans aucun traitement.
- Lorsque les travaux sont initiés principalement pour répondre à une problématique environnementale (fréquence de débordements trop élevée) et que les solutions sont comparées sur la base de leurs coûts totaux :
  - le maintien du réseau unitaire, avec construction d'un réservoir de rétention, est moins coûteux que la pseudo-séparation du réseau pour deux des quatre secteurs à l'étude, peu importe la longueur de conduites du réseau unitaire qui nécessitent un remplacement en raison de leur détérioration structurale;
  - la pseudo-séparation est moins coûteuse que le maintien du réseau unitaire pour deux des secteurs étudiés lorsque le pourcentage de conduites unitaires à remplacer pour des raisons structurales devient supérieur à environ 50 % (environ 25 % si l'on tient compte du coût de traitement des eaux usées);
  - la différence de résultats pour deux des quatre secteurs est fortement liée à la configuration actuelle des réseaux, qui détermine le volume total des débordements et donc le volume de rétention à construire pour le maintien d'un réseau unitaire.

- Lorsque les travaux sont initiés surtout pour des raisons de défaillance structurale du réseau et que les coûts des deux options sont comparés sur une base annuelle :
  - le maintien du réseau unitaire est moins coûteux que la pseudo-séparation pour tous les secteurs avec un taux de remplacement annuel de 10 % de la longueur des conduites;
  - pour des taux de remplacement annuels inférieurs, la solution la moins coûteuse varie en fonction du secteur étudié; cependant, si la pseudo-séparation est réalisée à des taux inférieurs à 10 % par année, il faudrait normalement construire un réservoir de rétention pour rencontrer les exigences environnementales en attendant que les travaux de pseudo-séparation soient terminés; la solution de pseudo-séparation deviendrait ainsi nécessairement plus coûteuse que le maintien du réseau unitaire.
  
- Des analyses réalisées sur un petit sous-bassin de 24 ha (trois rues) ont montré que, pour ce secteur, la pseudo-séparation devient moins coûteuse que le volume de rétention requis pour conserver un réseau unitaire seulement dans le cas où une très grande majorité des conduites en place (soit plus de 80 % environ) a besoin d'être remplacée en raison de leur détérioration structurale. Dans le cas contraire, le maintien d'un réseau unitaire, incluant l'ajout d'une capacité de rétention supplémentaire, est moins coûteux que la pseudo-séparation des réseaux.

Il est important de rappeler que ces conclusions sont inhérentes aux hypothèses retenues et sont liées aux modèles SWMM qui ont été fournis pour l'analyse des secteurs à l'étude. Ainsi, les coûts utilisés pour l'installation et le doublage de conduites sont respectivement de 780 et 320 \$/m. Ces coûts représentent fort probablement des coûts minimaux, qui pourraient s'avérer plus élevés dans plusieurs situations. Or toute hausse de coûts pour l'installation de conduites défavorisera encore plus la solution de pseudo-séparation. Les résultats présentés dépendent également de la proportion du ruissellement de surface qui pourra effectivement rejoindre le réseau pluvial en cas de pseudo-séparation. Les pourcentages retenus sont des pourcentages globaux qui ont été estimés par analyse d'orthophotos et en supposant que les surfaces imperméables sont toutes connectées au réseau de drainage. Une analyse de sensibilité des résultats face à ce pourcentage a toutefois montré que la solution à privilégier entre réseau unitaire et pseudo-séparé est peu influencée par l'augmentation de sa valeur. De plus, aucun coût d'entretien (conduites et réservoirs) n'a été pris en compte dans la comparaison.

En ce qui concerne les impacts environnementaux, ils ont été considérés en termes globaux, en sommant sur une saison les charges de divers contaminants déversées au milieu récepteur. La prise en compte des impacts aigus, liés aux concentrations rejetées, aurait pu défavoriser la solution de maintien du réseau unitaire. Aussi, les rejets de la station de traitement n'ont pas été pris en compte. Leur intégration dans l'analyse aurait pu dans certains cas défavoriser la solution du maintien du réseau unitaire, en raison du plus grand volume d'eaux dirigé vers la station pour cette option et de la baisse de performance possible du traitement en temps de pluie.

Il est bon de rappeler que les résultats obtenus supposent que les modèles SWMM fournis par la Ville représentent de façon adéquate l'hydrologie et l'hydraulique sur les quatre secteurs à l'étude. On a aussi supposé que la capacité hydraulique des réseaux dans ces secteurs était suffisante; les conclusions obtenues auraient pu être différentes dans des secteurs connaissant des problèmes fréquents de refoulements et/ou d'inondations. Rappelons également que la grande majorité des analyses présentées dans ce rapport ont été complétées sur de grands bassins de drainage, dont la superficie varie de 40 à 1 241 ha. Cependant, les résultats seraient les mêmes sur des secteurs plus restreints, aux caractéristiques similaires, puisque toutes les variables utilisées dans les calculs auraient été réduites d'un même facteur d'échelle.

Au vu des résultats obtenus, il semble donc que la pseudo-séparation des réseaux semble rarement justifiée, aussi bien en matière de coûts que d'impacts environnementaux, lorsque des travaux sont entrepris sur des secteurs existants. L'ajout de dispositifs de traitement des eaux pluviales aux points de rejet vers le milieu récepteur permettrait évidemment d'accroître la performance environnementale de la pseudo-séparation, mais accroîtrait du même coup les coûts liés à cette option.



## 7 Références

- BPR (2012). *Concepts et études préparatoires pour le contrôle des débordements des ouvrages d'assainissement U025-Vanier, U040-Chanoine-Côté et U047-CC de l'hôpital (projet A) - Rapport d'étape 1 : Modélisation, calibration et diagnostic.*
- Brombach, H., G. Weiss et S. Fuchs (2005). A new database on urban runoff pollution: comparison of separate and combined sewer systems. *Water Science and Technology*, 51(2): 119-28.
- De Toffol, S., C. Engelhard et W. Rauch (2007). Combined sewer system versus separate system - a comparison of ecological and economical performance indicators. *Water Science and Technology*, 55(4): 255-264.
- Duchesne, S. et J.-P. Villeneuve (2006). Estimation du coût total associé à la production d'eau potable : cas d'application de la Ville de Québec. *Revue des Sciences de l'Eau*, 19(2): 69-85.
- Mannina, G. et G. Viviani (2009). Separate and combined sewer systems: a long-term modelling approach. *Water Science and Technology*, 60(3): 555-565.
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) et Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT) (2011). *Guide de gestion des eaux pluviales*. Disponible en ligne : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide.htm> (dernière consultation le 18 février 2013).
- Tecsult (2006). *Étude des réseaux - Rues Chaumont, Mont-Saint-Denis et du Ravin*. Ville de Québec, Division de la planification, Arrondissement Sainte-Foy-Sillery.
- Ville de Québec (2012). *Gestion des eaux pluviales en milieu urbain - Vérification des calculs*. Disponible sur :

[http://www.ville.quebec.qc.ca/gens\\_affaires/reglements\\_permis/docs/guide\\_gestion\\_eau\\_x\\_pluviales\\_milieu\\_urbain.pdf](http://www.ville.quebec.qc.ca/gens_affaires/reglements_permis/docs/guide_gestion_eau_x_pluviales_milieu_urbain.pdf) (dernière consultation 14 janvier 2014).

Villeneuve, J.-P., P.A. Vanrolleghem, S. Duchesne, M.B. Neumann, L. Cluzot, F. Cloutier, V. Bouré, K. Bouchard, M.-K. Fortin, B. Morse, D. Godin, J.-P. Beaumont, M. Guimont, A. Soucy et S. Drainville (2012). *Rapport final de l'audit de la Ville de Québec sur l'eau*. INRS-ETE et Université Laval.

Welker, A. (2008). Emissions of pollutant loads from combined sewer systems and separate sewer systems – Which sewer system is better? Dans : *11<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK, p. 1-9.

## 8 Annexes

### 8.1 Choix des années considérées dans l'analyse

Cette section présente des figures illustrant le nombre de données manquantes et le cumul de précipitations, pour la période du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre de chaque année allant de 2005 à 2012, et pour chacun des pluviomètres utilisés dans l'étude. Ces données ont servi de base pour choisir les années à considérer dans l'analyse.

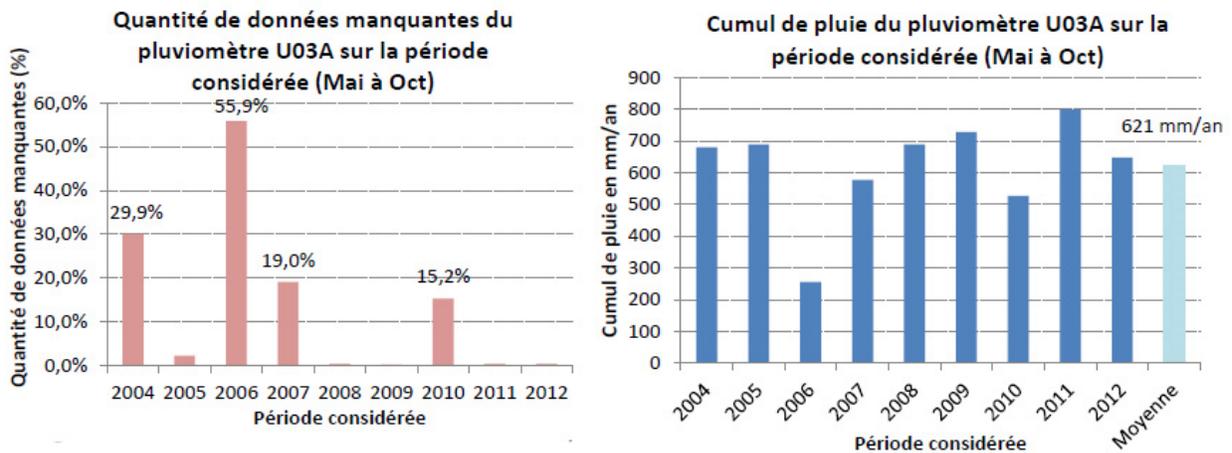


Figure 11 - Secteur U040, pluviomètre U03A

Pour le secteur U040, les années retenues pour les analyses sont 2005, 2008, 2009, 2011 et 2012.

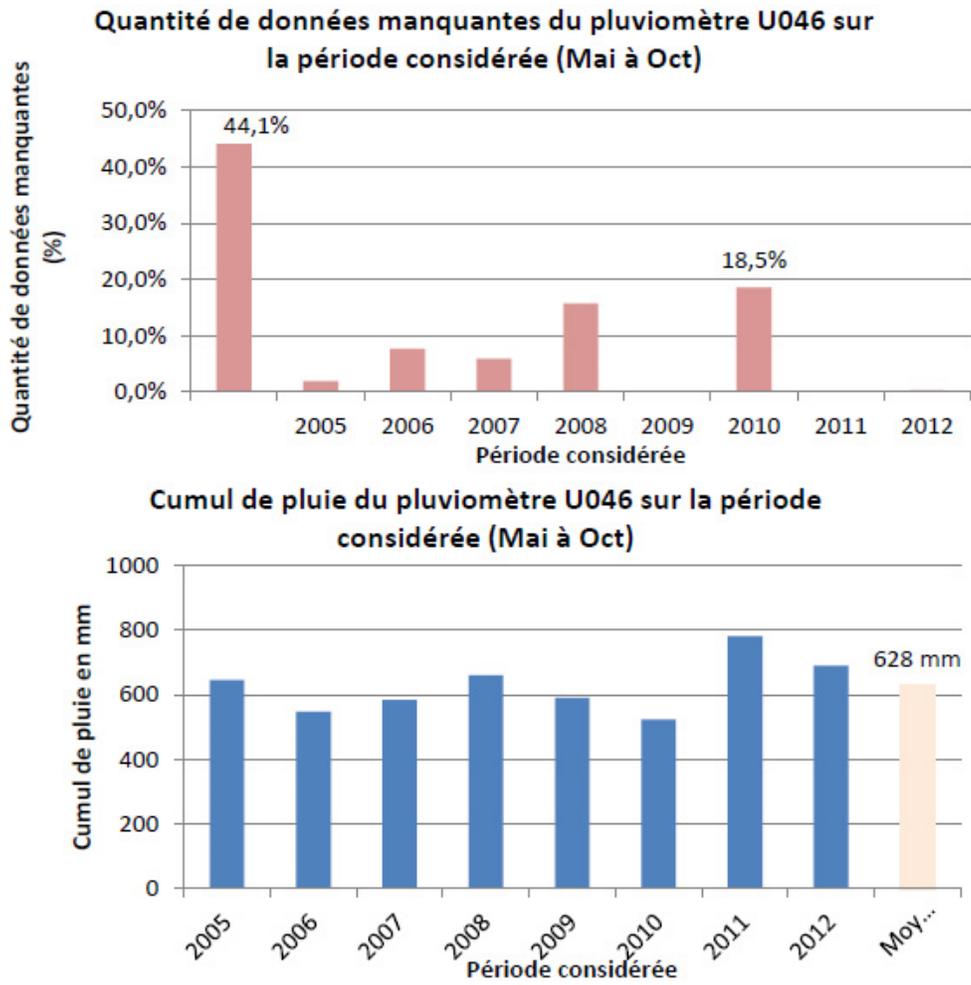


Figure 12 - Secteur U047, pluviomètre U046

Pour le secteur U047, les années retenues pour les analyses sont 2005, 2007, 2009, 2011 et 2012.

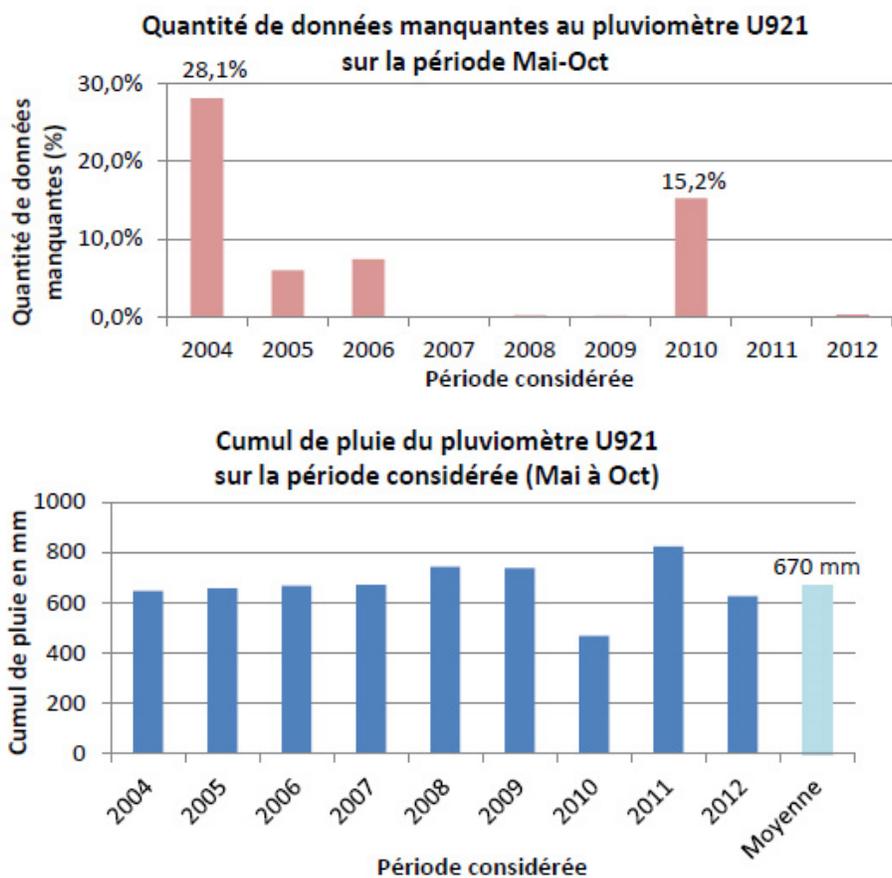


Figure 13 - Secteur Beauport, pluviomètre U921

Pour le secteur Beauport, les années retenues pour les analyses sont 2005, 2007, 2008, 2009, 2011 et 2012.

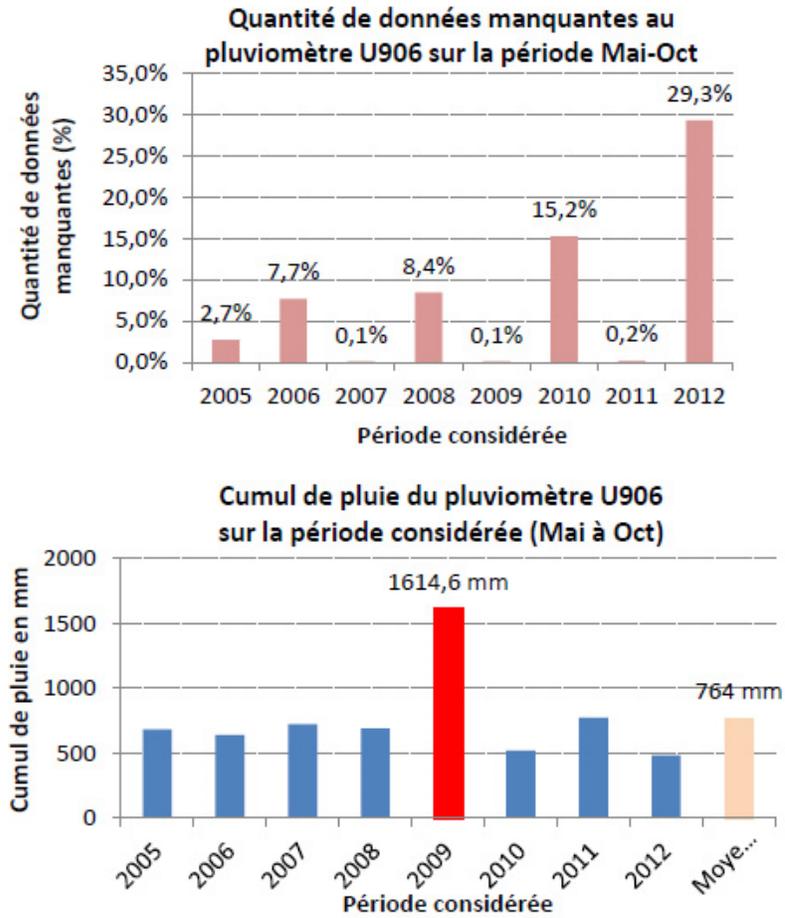


Figure 14 - Secteur Ouest, pluviomètre U906

Pour le secteur Ouest, les années retenues pour les analyses sont 2005, 2006, 2007, 2008, et 2011.

## 8.2 Dimensionnement du réservoir de rétention

Pour chacun des secteurs à l'étude, le réservoir de rétention a été dimensionné de façon à limiter à 4 le nombre d'épisodes de débordement du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre des années prises en compte. Ainsi, le volume a été calculé en prenant la valeur la plus élevée, parmi les années à l'étude, du volume du 5<sup>e</sup> épisode de débordement le plus volumineux à chaque année, majoré de 10 %. La Tableau 11 résume les valeurs qui ont été utilisées pour calculer le volume de rétention pour chacun des réservoirs à l'étude. Tel que mentionné précédemment, notons que pour les secteurs Beauport et Ouest, les volumes indiqués correspondent à la somme des volumes pour les exutoires pris en compte.

**Tableau 11 - Volume du 5<sup>e</sup> épisode de débordement le plus volumineux à chaque année**

Année	U040	U047	Beauport	Ouest
2005	642 m <sup>3</sup>	5 445 m <sup>3</sup>	7 370 m <sup>3</sup>	38 158 m <sup>3</sup>
2006	-	-	-	43 982 m <sup>3</sup>
2007	-	2 527 m <sup>3</sup>	7 646 m <sup>3</sup>	47 167 m <sup>3</sup>
2008	692 m <sup>3</sup>	-	10 430 m <sup>3</sup>	53 659 m <sup>3</sup>
2009	97 m <sup>3</sup>	3 528 m <sup>3</sup>	10 570 m <sup>3</sup>	-
2010	-	-	-	-
2011	236 m <sup>3</sup>	5 612 m <sup>3</sup>	12 149 m <sup>3</sup>	58 104 m <sup>3</sup>
2012	447 m <sup>3</sup>	5 233 m <sup>3</sup>	8 658 m <sup>3</sup>	-
Maximum	692 m <sup>3</sup>	5 612 m <sup>3</sup>	12 149 m <sup>3</sup>	58 104 m <sup>3</sup>
Volume choisi	762 m <sup>3</sup>	6 174 m <sup>3</sup>	13 364 m <sup>3</sup>	63 914 m <sup>3</sup>

## 8.3 Dimensionnement des bassins d'orage

Les volumes de bassin d'orage ont été calculés selon la méthode présentée dans Ville de Québec (2012), en utilisant une récurrence de 100 ans et les courbes Intensité-Durée-Fréquence du climat futur. Les Figures 15 à 18 illustrent les courbes utilisées pour réaliser ce calcul. Pour chaque secteur, le volume choisi pour la rétention est le maximum de la courbe

bleue en pointillé (volume de rétention). Ce volume pourrait être assuré par la construction d'un ou de plusieurs bassins d'orage.

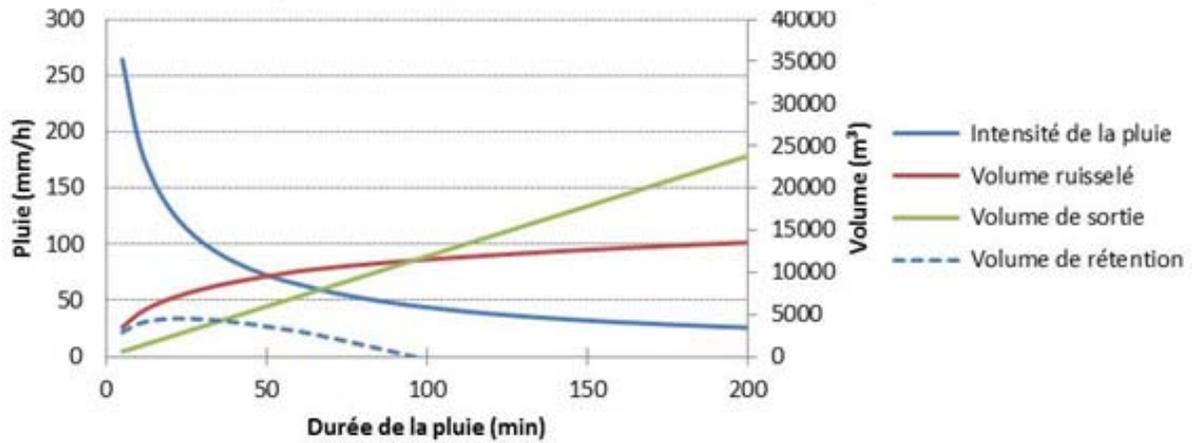


Figure 15 - Dimensionnement du bassin d'orage du secteur U040, pour une récurrence de 100 ans en climat futur

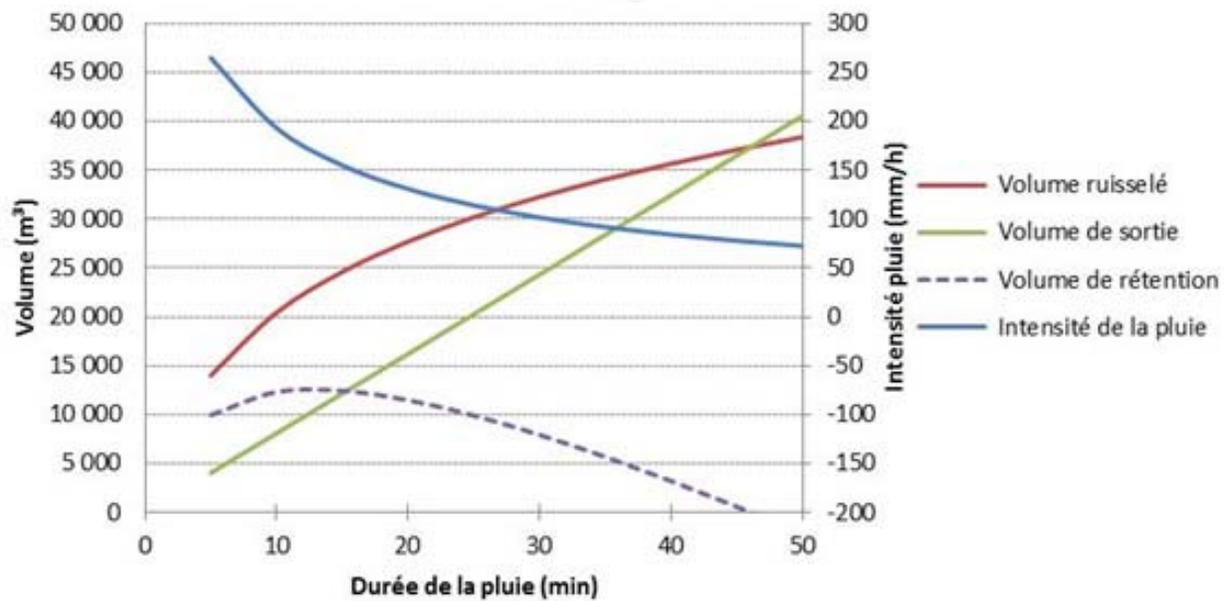


Figure 16 - Dimensionnement du bassin d'orage du secteur U047, pour une récurrence de 100 ans en climat futur

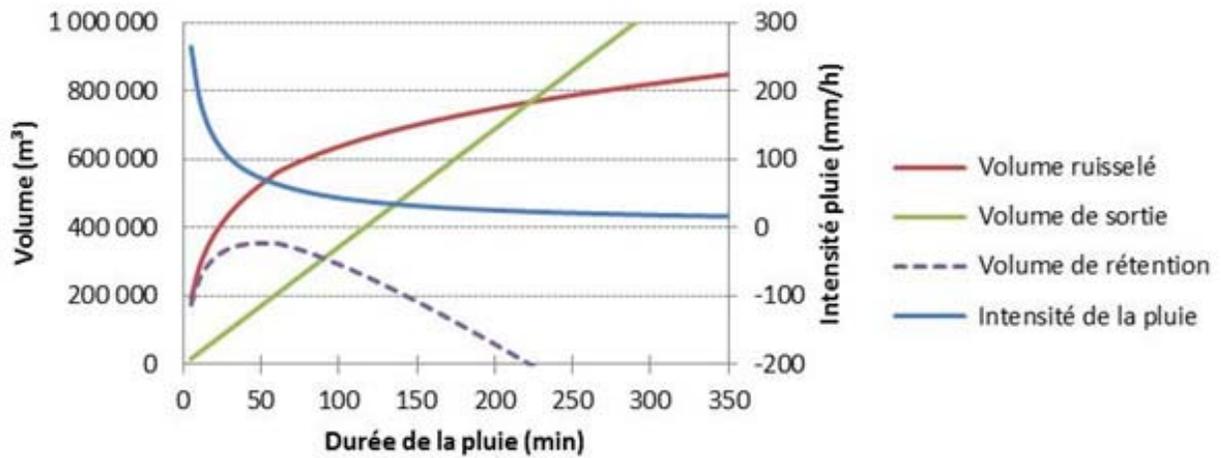


Figure 17 - Dimensionnement du bassin d'orage du secteur Beauport, pour une récurrence de 100 ans en climat futur

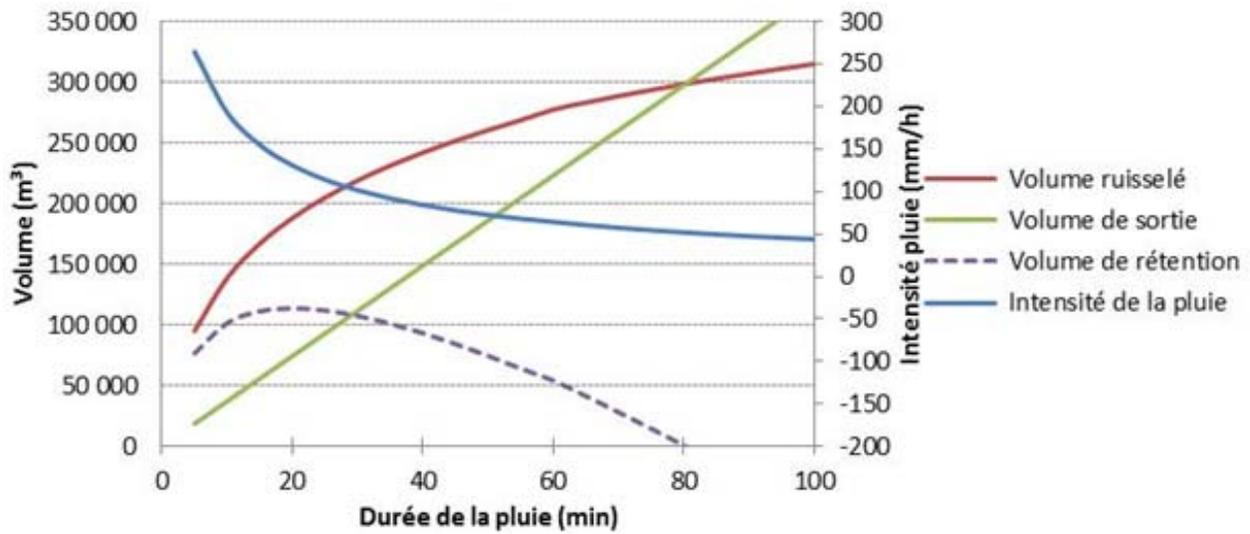


Figure 18 - Dimensionnement du bassin d'orage du secteur Ouest, pour une récurrence de 100 ans en climat futur

#### 8.4 Résultats détaillés de la comparaison des coûts pour des travaux initiés en raison d'une problématique structurale

Tableau 12 - Comparaison des coûts sur une base annuelle lorsque les travaux sont initiés pour une problématique structurale (1 représente la solution la moins coûteuse et 4 la plus coûteuse); la solution en grisé est celle qui est la moins coûteuse entre les scénarios S2 et S3.

U040 - Réel						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation avec bassin	3	4	4	4	4	4
Pseudo-séparation sans bassin	1	2	2	3	3	3
Unitaire avec réservoir	4	3	3	2	2	2
Unitaire sans réservoir	1	1	1	1	1	1
U047 - Réel						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation avec bassin	3	3	3	3	4	4
Pseudo-séparation sans bassin	1	2	2	2	3	3
Unitaire avec réservoir	4	4	4	4	2	2
Unitaire sans réservoir	1	1	1	1	1	1
Beauport - RÉEL						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation avec bassin	4	4	4	4	4	4
Pseudo-séparation sans bassin	1	2	2	3	3	3
Unitaire avec réservoir	3	3	3	2	2	2
Unitaire sans réservoir	1	1	1	1	1	1
Ouest - RÉEL						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation avec bassin	3	3	3	3	4	4
Pseudo-séparation sans bassin	1	2	2	2	3	3
Unitaire avec réservoir	4	4	4	4	2	2
Unitaire sans réservoir	1	1	1	1	1	1

**Tableau 13 - Comparaison des coûts sur une base annuelle lorsque les travaux sont initiés pour une problématique structurale, en considérant un pourcentage d'imperméabilité fixé à 75 % sur tous les sous-bassins (1 représente la solution la moins coûteuse et la plus coûteuse); la solution en grisé est celle qui est la moins coûteuse.**

U040 – imperméabilité 75 %						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation sans bassin	1	1	1	1	2	2
Unitaire avec réservoir	2	2	2	2	1	1
U047 – imperméabilité 75 %						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation sans bassin	1	1	1	1	1	1
Unitaire avec réservoir	2	2	2	2	2	2
Beauport - imperméabilité 75 %						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation sans bassin	1	1	1	1	1	1
Unitaire avec réservoir	2	2	2	2	2	2
Ouest – imperméabilité 75 %						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation sans bassin	1	1	1	1	1	2
Unitaire avec réservoir	2	2	2	2	2	1

**Tableau 14 - Comparaison des coûts sur une base annuelle lorsque les travaux sont initiés pour une problématique structurale, en considérant que 50 % du ruissellement est acheminé vers les conduites pseudo-sanitaires (1 représente la solution la moins coûteuse et 2 la plus coûteuse); la solution en grisé est celle qui est la moins coûteuse.**

U040 – 50 % dans le pseudo-sanitaire						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation sans bassin	1	1	1	2	2	2
Unitaire avec réservoir	2	2	2	1	1	1
U047 – 50 % dans le pseudo-sanitaire						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation sans bassin	1	1	1	1	2	2
Unitaire avec réservoir	2	2	2	2	1	1
Beauport - 50 % dans le pseudo-sanitaire						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation sans bassin	1	1	1	2	2	2
Unitaire avec réservoir	2	2	2	1	1	1
Ouest – 50 % dans le pseudo-sanitaire						
Taux annuel de remplacement	0,0%	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%
Pseudo-séparation sans bassin	1	1	1	1	2	2
Unitaire avec réservoir	2	2	2	2	1	1

## 8.5 Résultats détaillés de la comparaison de la performance environnementale

Tableau 15 - Charge moyenne déversée dans le milieu récepteur du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre pour les différents scénarios, pour la situation où l'on suppose que tous les sous-bassins ont un pourcentage d'imperméabilité de 75 %

U040 – Imperméabilité à 75 %			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	4 E+14	2 E+14	3 E+13
MES (mg/saison)	2 E+10	1 E+10	1 E+10
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	8 E+09	4 E+09	1 E+09
Pb (µg/saison)	2 E+10	1 E+10	2 E+10
U047 - Imperméabilité à 75 %			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	3 E+15	5 E+14	2 E+15
MES (mg/saison)	2 E+11	5 E+10	2 E+11
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	6 E+10	1 E+10	5 E+10
Pb (µg/saison)	2 E+11	7 E+10	2 E+11
Beauport - Imperméabilité à 75 %			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	1 E+16	1 E+15	2 E+15
MES (mg/saison)	6 E+11	8 E+10	3 E+11
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	2 E+11	3 E+10	5 E+10
Pb (µg/saison)	7 E+11	9 E+10	3 E+11
Ouest - Imperméabilité à 75 %			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	1 E+16	2 E+15	9 E+15
MES (mg/saison)	7 E+11	1 E+11	7 E+11
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	3 E+11	4 E+10	2 E+11
Pb (µg/saison)	8 E+11	1 E+11	8 E+11

**Tableau 16 - Charge moyenne déversée dans le milieu récepteur du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre pour les différents scénarios, pour la situation où l'on suppose que 50 % du ruissellement est acheminé vers le réseau pseudo-domestique**

U040 – 50 % du ruissellement dans pseudo-domestique			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	7 E+13	6 E+13	6 E+13
MES (mg/saison)	3 E+10	3 E+10	3 E+10
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	3 E+09	3 E+09	3 E+09
Pb (µg/saison)	4 E+10	4 E+10	4 E+10
U047 - 50 % du ruissellement dans pseudo-domestique			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	8 E+14	2 E+14	4 E+14
MES (mg/saison)	6 E+10	3 E+10	4 E+10
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	2 E+10	5 E+09	9 E+09
Pb (µg/saison)	8 E+10	4 E+10	5 E+10
Beauport - 50 % du ruissellement dans pseudo-domestique			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	2 E+14	3 E+13	4 E+14
MES (mg/saison)	1 E+10	2 E+09	9 E+10
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	5 E+09	7 E+08	1 E+10
Pb (µg/saison)	1 E+10	2 E+09	1 E+11
Ouest - 50 % du ruissellement dans pseudo-domestique			
	Unitaire	Unitaire + réservoir	Pseudo-séparé
Coliformes (UFC/saison)	3 E+15	5 E+14	2 E+15
MES (mg/saison)	2 E+11	3 E+10	1 E+11
DBO <sub>5</sub> (mg/saison)	6 E+10	1 E+10	5 E+10
Pb (µg/saison)	2 E+11	3 E+10	2 E+11

## 8.6 Données de pluie

Tableau 17 - Pluie du 7 août 2009

Heure	Intensité (mm/h)	Heure	Intensité (mm/h)
06:00	0,0	08:50	3,6
06:05	0,0	08:55	3,6
06:10	0,0	09:00	3,6
06:15	0,0	09:05	4,8
06:20	0,0	09:10	1,2
06:25	0,0	09:15	1,2
06:30	0,0	09:20	1,2
06:35	0,0	09:25	1,2
06:40	0,0	09:30	2,4
06:45	0,0	09:35	2,4
06:50	0,0	09:40	2,4
06:55	0,0	09:45	1,2
07:00	0,0	09:50	1,2
07:05	3,6	09:55	3,6
07:10	31,2	10:00	2,4
07:15	25,2	10:05	1,2
07:20	20,4	10:10	0,0
07:25	7,2	10:15	1,2
07:30	6,0	10:20	0,0
07:35	69,6	10:25	1,2
07:40	15,6	10:30	1,2
07:45	16,8	10:35	0,0
07:50	10,8	10:40	0,0
07:55	8,4	10:45	0,0
08:00	7,2	10:50	0,0
08:05	8,4	10:55	0,0
08:10	8,4	11:00	0,0
08:15	6,0	11:05	0,0
08:20	9,6	11:10	1,2
08:25	8,4	11:15	0,0
08:30	8,4	11:20	0,0
08:35	8,4	11:25	0,0
08:40	7,2	11:30	0,0
08:45	6,0		

**Tableau 18 - Pluie Chicago de durée 3 h et récurrence 1 an en climat futur**

Heure	Intensité (mm/h)
00:00	2,730
00:10	3,178
00:20	3,829
00:30	4,914
00:40	7,133
00:50	15,050
01:00	60,634
01:10	17,430
01:20	9,296
01:30	6,552
01:40	5,145
01:50	4,284
02:00	3,689
02:10	3,262
02:20	2,933
02:30	2,674
02:40	2,457
02:50	2,282

**Tableau 19 - Pluie Chicago de durée 3 h et récurrence 2 ans en climat futur**

Heure	Intensité (mm/h)
00:00	3,90
00:10	4,54
00:20	5,47
00:30	7,02
00:40	10,19
00:50	21,50
01:00	86,62
01:10	24,90
01:20	13,28
01:30	9,36
01:40	7,35
01:50	6,12
02:00	5,27
02:10	4,66
02:20	4,19
02:30	3,82
02:40	3,51
02:50	3,26

---

Tableau 20 - Pluie du 23 septembre 2009

Date	Heure	Intens. (mm/h)									
22/09	09:15	1,2	22/09	12:10	0,0	22/09	15:05	0,0	22/09	18:00	0,0
22/09	09:20	1,2	22/09	12:15	0,0	22/09	15:10	0,0	22/09	18:05	0,0
22/09	09:25	1,2	22/09	12:20	1,2	22/09	15:15	0,0	22/09	18:10	0,0
22/09	09:30	0,0	22/09	12:25	0,0	22/09	15:20	0,0	22/09	18:15	0,0
22/09	09:35	2,4	22/09	12:30	0,0	22/09	15:25	0,0	22/09	18:20	0,0
22/09	09:40	3,6	22/09	12:35	0,0	22/09	15:30	0,0	22/09	18:25	0,0
22/09	09:45	1,2	22/09	12:40	0,0	22/09	15:35	0,0	22/09	18:30	0,0
22/09	09:50	2,4	22/09	12:45	0,0	22/09	15:40	0,0	22/09	18:35	0,0
22/09	09:55	2,4	22/09	12:50	0,0	22/09	15:45	0,0	22/09	18:40	0,0
22/09	10:00	1,2	22/09	12:55	0,0	22/09	15:50	0,0	22/09	18:45	0,0
22/09	10:05	1,2	22/09	13:00	0,0	22/09	15:55	0,0	22/09	18:50	0,0
22/09	10:10	1,2	22/09	13:05	0,0	22/09	16:00	0,0	22/09	18:55	0,0
22/09	10:15	1,2	22/09	13:10	0,0	22/09	16:05	0,0	22/09	19:00	0,0
22/09	10:20	2,4	22/09	13:15	0,0	22/09	16:10	0,0	22/09	19:05	0,0
22/09	10:25	1,2	22/09	13:20	0,0	22/09	16:15	0,0	22/09	19:10	0,0
22/09	10:30	0,0	22/09	13:25	0,0	22/09	16:20	0,0	22/09	19:15	0,0
22/09	10:35	0,0	22/09	13:30	0,0	22/09	16:25	0,0	22/09	19:20	0,0
22/09	10:40	0,0	22/09	13:35	0,0	22/09	16:30	0,0	22/09	19:25	0,0
22/09	10:45	0,0	22/09	13:40	0,0	22/09	16:35	0,0	22/09	19:30	0,0
22/09	10:50	1,2	22/09	13:45	0,0	22/09	16:40	0,0	22/09	19:35	0,0
22/09	10:55	0,0	22/09	13:50	0,0	22/09	16:45	0,0	22/09	19:40	0,0
22/09	11:00	0,0	22/09	13:55	0,0	22/09	16:50	0,0	22/09	19:45	0,0
22/09	11:05	3,6	22/09	14:00	0,0	22/09	16:55	0,0	22/09	19:50	0,0
22/09	11:10	2,4	22/09	14:05	0,0	22/09	17:00	0,0	22/09	19:55	0,0
22/09	11:15	1,2	22/09	14:10	0,0	22/09	17:05	0,0	22/09	20:00	0,0
22/09	11:20	1,2	22/09	14:15	0,0	22/09	17:10	0,0	22/09	20:05	0,0
22/09	11:25	1,2	22/09	14:20	0,0	22/09	17:15	0,0	22/09	20:10	0,0
22/09	11:30	0,0	22/09	14:25	0,0	22/09	17:20	0,0	22/09	20:15	0,0
22/09	11:35	1,2	22/09	14:30	0,0	22/09	17:25	0,0	22/09	20:20	0,0
22/09	11:40	0,0	22/09	14:35	0,0	22/09	17:30	0,0	22/09	20:25	0,0
22/09	11:45	0,0	22/09	14:40	0,0	22/09	17:35	0,0	22/09	20:30	0,0
22/09	11:50	0,0	22/09	14:45	0,0	22/09	17:40	0,0	22/09	20:35	0,0
22/09	11:55	1,2	22/09	14:50	0,0	22/09	17:45	0,0	22/09	20:40	0,0
22/09	12:00	0,0	22/09	14:55	0,0	22/09	17:50	0,0	22/09	20:45	0,0
22/09	12:05	0,0	22/09	15:00	0,0	22/09	17:55	0,0	22/09	20:50	0,0

Tableau 20 - Pluie du 23 septembre 2009 (suite)

Date	Heure	Intens. (mm/h)									
22/09	20:55	0,0	22/09	23:50	0,0	23/09	02:45	0,0	23/09	05:40	0,0
22/09	21:00	0,0	22/09	23:55	0,0	23/09	02:50	0,0	23/09	05:45	0,0
22/09	21:05	0,0	23/09	00:00	0,0	23/09	02:55	0,0	23/09	05:50	0,0
22/09	21:10	0,0	23/09	00:05	0,0	23/09	03:00	0,0	23/09	05:55	0,0
22/09	21:15	0,0	23/09	00:10	0,0	23/09	03:05	0,0	23/09	06:00	0,0
22/09	21:20	0,0	23/09	00:15	0,0	23/09	03:10	0,0	23/09	06:05	0,0
22/09	21:25	0,0	23/09	00:20	0,0	23/09	03:15	0,0	23/09	06:10	0,0
22/09	21:30	0,0	23/09	00:25	0,0	23/09	03:20	0,0	23/09	06:15	0,0
22/09	21:35	0,0	23/09	00:30	0,0	23/09	03:25	0,0	23/09	06:20	0,0
22/09	21:40	0,0	23/09	00:35	0,0	23/09	03:30	0,0	23/09	06:25	0,0
22/09	21:45	0,0	23/09	00:40	0,0	23/09	03:35	0,0	23/09	06:30	0,0
22/09	21:50	0,0	23/09	00:45	0,0	23/09	03:40	0,0	23/09	06:35	0,0
22/09	21:55	0,0	23/09	00:50	0,0	23/09	03:45	0,0	23/09	06:40	0,0
22/09	22:00	0,0	23/09	00:55	0,0	23/09	03:50	0,0	23/09	06:45	0,0
22/09	22:05	0,0	23/09	01:00	0,0	23/09	03:55	0,0	23/09	06:50	0,0
22/09	22:10	0,0	23/09	01:05	0,0	23/09	04:00	0,0	23/09	06:55	0,0
22/09	22:15	0,0	23/09	01:10	0,0	23/09	04:05	0,0	23/09	07:00	0,0
22/09	22:20	0,0	23/09	01:15	0,0	23/09	04:10	0,0	23/09	07:05	0,0
22/09	22:25	0,0	23/09	01:20	0,0	23/09	04:15	0,0	23/09	07:10	0,0
22/09	22:30	0,0	23/09	01:25	0,0	23/09	04:20	0,0	23/09	07:15	0,0
22/09	22:35	0,0	23/09	01:30	0,0	23/09	04:25	0,0	23/09	07:20	0,0
22/09	22:40	0,0	23/09	01:35	0,0	23/09	04:30	0,0	23/09	07:25	0,0
22/09	22:45	0,0	23/09	01:40	0,0	23/09	04:35	0,0	23/09	07:30	0,0
22/09	22:50	0,0	23/09	01:45	0,0	23/09	04:40	0,0	23/09	07:35	0,0
22/09	22:55	0,0	23/09	01:50	0,0	23/09	04:45	0,0	23/09	07:40	0,0
22/09	23:00	0,0	23/09	01:55	0,0	23/09	04:50	0,0	23/09	07:45	0,0
22/09	23:05	0,0	23/09	02:00	0,0	23/09	04:55	0,0	23/09	07:50	0,0
22/09	23:10	0,0	23/09	02:05	0,0	23/09	05:00	0,0	23/09	07:55	0,0
22/09	23:15	0,0	23/09	02:10	0,0	23/09	05:05	0,0	23/09	08:00	0,0
22/09	23:20	0,0	23/09	02:15	0,0	23/09	05:10	0,0	23/09	08:05	0,0
22/09	23:25	0,0	23/09	02:20	0,0	23/09	05:15	0,0	23/09	08:10	0,0
22/09	23:30	0,0	23/09	02:25	0,0	23/09	05:20	0,0	23/09	08:15	0,0
22/09	23:35	0,0	23/09	02:30	0,0	23/09	05:25	0,0	23/09	08:20	0,0
22/09	23:40	0,0	23/09	02:35	0,0	23/09	05:30	0,0	23/09	08:25	0,0
22/09	23:45	0,0	23/09	02:40	0,0	23/09	05:35	0,0	23/09	08:30	0,0

Tableau 20 - Pluie du 23 septembre 2009 (suite)

Date	Heure	Intens. (mm/h)									
23/09	08:35	0,0	23/09	11:30	0,0	23/09	14:25	0,0	23/09	17:20	0,0
23/09	08:40	0,0	23/09	11:35	0,0	23/09	14:30	0,0	23/09	17:25	0,0
23/09	08:45	0,0	23/09	11:40	1,2	23/09	14:35	0,0	23/09	17:30	0,0
23/09	08:50	0,0	23/09	11:45	0,0	23/09	14:40	3,6	23/09	17:35	0,0
23/09	08:55	0,0	23/09	11:50	1,2	23/09	14:45	6,0	23/09	17:40	0,0
23/09	09:00	0,0	23/09	11:55	0,0	23/09	14:50	1,2	23/09	17:45	0,0
23/09	09:05	0,0	23/09	12:00	1,2	23/09	14:55	0,0	23/09	17:50	0,0
23/09	09:10	0,0	23/09	12:05	0,0	23/09	15:00	4,8	23/09	17:55	0,0
23/09	09:15	0,0	23/09	12:10	0,0	23/09	15:05	2,4	23/09	18:00	0,0
23/09	09:20	0,0	23/09	12:15	1,2	23/09	15:10	6,0	23/09	18:05	0,0
23/09	09:25	0,0	23/09	12:20	0,0	23/09	15:15	3,6	23/09	18:10	0,0
23/09	09:30	0,0	23/09	12:25	1,2	23/09	15:20	1,2	23/09	18:15	0,0
23/09	09:35	0,0	23/09	12:30	0,0	23/09	15:25	0,0	23/09	18:20	0,0
23/09	09:40	1,2	23/09	12:35	1,2	23/09	15:30	1,2	23/09	18:25	0,0
23/09	09:45	0,0	23/09	12:40	2,4	23/09	15:35	1,2	23/09	18:30	0,0
23/09	09:50	0,0	23/09	12:45	3,6	23/09	15:40	2,4	23/09	18:35	0,0
23/09	09:55	0,0	23/09	12:50	2,4	23/09	15:45	3,6	23/09	18:40	0,0
23/09	10:00	0,0	23/09	12:55	4,8	23/09	15:50	3,6	23/09	18:45	0,0
23/09	10:05	0,0	23/09	13:00	10,8	23/09	15:55	9,6	23/09	18:50	0,0
23/09	10:10	0,0	23/09	13:05	0,0	23/09	16:00	32,4	23/09	18:55	0,0
23/09	10:15	0,0	23/09	13:10	0,0	23/09	16:05	32,4	23/09	19:00	0,0
23/09	10:20	0,0	23/09	13:15	0,0	23/09	16:10	22,8	23/09	19:05	0,0
23/09	10:25	0,0	23/09	13:20	0,0	23/09	16:15	68,4	23/09	19:10	0,0
23/09	10:30	0,0	23/09	13:25	0,0	23/09	16:20	0,0	23/09	19:15	0,0
23/09	10:35	0,0	23/09	13:30	0,0	23/09	16:25	0,0	23/09	19:20	0,0
23/09	10:40	0,0	23/09	13:35	0,0	23/09	16:30	2,4	23/09	19:25	0,0
23/09	10:45	0,0	23/09	13:40	0,0	23/09	16:35	1,2	23/09	19:30	0,0
23/09	10:50	0,0	23/09	13:45	0,0	23/09	16:40	4,8	23/09	19:35	0,0
23/09	10:55	0,0	23/09	13:50	0,0	23/09	16:45	0,0	23/09	19:40	0,0
23/09	11:00	0,0	23/09	13:55	0,0	23/09	16:50	1,2	23/09	19:45	0,0
23/09	11:05	0,0	23/09	14:00	0,0	23/09	16:55	0,0	23/09	19:50	1,2
23/09	11:10	0,0	23/09	14:05	0,0	23/09	17:00	0,0	23/09	19:55	0,0
23/09	11:15	0,0	23/09	14:10	0,0	23/09	17:05	0,0	23/09	20:00	0,0
23/09	11:20	0,0	23/09	14:15	0,0	23/09	17:10	0,0	23/09	20:05	0,0
23/09	11:25	0,0	23/09	14:20	0,0	23/09	17:15	0,0	23/09	20:10	0,0