

**« Implantation en milieu urbain de systèmes végétalisés de contrôle à la source des eaux pluviales dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques : balisage des pratiques québécoises, canadiennes et internationales et développement d'un cadre d'implantation pour les municipalités du Sud du Québec ».**

Danielle Dagenais,  
Chaire en paysage et environnement (CPEUM), École d'architecture de paysage,  
Faculté de l'Aménagement, Université de Montréal

et  
Sylvain Paquette, Université de Montréal  
Isabelle Thomas, Université de Montréal  
Musandji Fuamba, École polytechnique de Montréal

Février 2014

*Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres.*



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

## **Erratum**

La source de la figure en page est (Dreistler et coll., 2001, 78-79) et non (Dreiseitl et coll., 2009).

La référence bibliographique doit donc se lire Dreiseitl, H., Grau, D. & Ludwig, K.H.C. (Eds) (2001). *Waterscapes: planning, building and designing with water*, Birkhäuser, Basel, Suisse.

Et non Dreiseitl, H. & Grau, D. (2009) *Recent waterscapes, Planning, Building and Designing with Water*.

## Table des matières

<b>1. Introduction/contexte de l'étude et enjeux</b> .....	<b>11</b>
1.1. Questions de recherche .....	14
1.2. Précisions sur le déroulement actuel du projet .....	16
<b>2. Revue de la littérature et définition des concepts</b> .....	<b>16</b>
2.1. Impact des changements climatiques et de l'urbanisation sur le cycle de l'eau dans les municipalités du Sud du Québec.....	17
2.2. Gestion intégrée des eaux pluviales et principes du Low Impact Development .....	17
2.3. Pratiques de gestion optimales des eaux pluviales.....	17
2.4. Avantage des systèmes végétalisés et rôle des végétaux et du sol dans ces systèmes .....	20
2.4.1. Réduction des volumes et des débits de pointe .....	21
2.4.2. Amélioration de la qualité des eaux de ruissellement .....	23
2.4.3. Autres avantages environnementaux.....	25
2.4.4. Amélioration de l'acceptabilité sociale .....	27
2.5. Description et fonctionnement des PGOSV .....	28
2.5.1. Toits verts.....	28
2.5.2. Bandes filtrantes.....	30
2.5.3. Zones de biorétention .....	31
2.5.4. Noues.....	34
2.6. Outils d'aide à la décision.....	35
2.7. Simulations.....	38
2.8. Obstacles et facilitateurs à l'implantation des PGO .....	39
2.9. Processus de planification de l'implantation des PGO à l'échelle d'un bassin versant urbain .....	41
<b>3. Cadre conceptuel</b> .....	<b>44</b>
3.1. Acceptabilité sociale.....	44
3.2. Cadre de vie.....	44
3.3. Vulnérabilité .....	44
3.4. Cadre d'implantation et concept d'aide à la décision .....	46
<b>4. Méthodologie</b> .....	<b>46</b>
4.1. Études de cas .....	46
4.2. Simulation de l'impact de l'implantation maximale de PGOSV sur trois sites de l'arrondissement de Beauport sur les volumes et les débits de pointe d'eau pluviale .....	51
4.2.1. Choix et description du secteur à l'étude: arrondissement de Beauport, ville de Québec, QC .....	51
4.2.2. Choix des PGOSV pour l'ensemble des scénarios .....	54

4.2.3. Conception des sous-bassins.....	55
4.2.3.1. Type de PGOSV pouvant être implantés dans chaque zone.....	55
4.2.3.2. Superficies des PGOSV à planter (dimensionnement).....	56
4.2.3.3. Localisation des PGOSV dans chaque zone.....	56
4.2.3.4. Zone commerciale (voir tableau 5).....	56
4.2.3.5. Zone résidentielle (voir tableau 5).....	57
4.2.3.6. Zone industrielle (voir tableau 5).....	58
4.2.4. Conception des sous-bassins .....	63
4.2.5. Hypothèses de conception .....	63
4.2.6. Simulations.....	64
4.2.7. Limites du modèle .....	65
4.3. Vulnérabilité .....	65
4.3.1. Calcul des sensibilités territoriale et sociétale .....	65
4.3.2. Analyse de la sensibilité sociétale .....	66
4.3.2.1. Calcul de l'indice de la sensibilité sociétale (ISS).....	66
4.3.2.2. Analyse de la sensibilité territoriale .....	67
4.4. Prise en compte du cadre de vie .....	69
4.5. Développement d'un outil d'aide à la décision pour l'implantation de PGOSV dans les municipalités du Sud du Québec.....	69
<b>5. Résultats.....</b>	<b>72</b>
5.1. Études de cas .....	27
5.1.1. Résumé des résultats des études de cas .....	78
5.2. Simulations.....	79
5.2.1. Scénario 1 : Gestion à la source d'une pluie de 26 mm sur 6 heures.....	79
5.2.2. Scénario 2 : Gestion à la source d'une pluie de 26 mm + 15% sur 6 heures .....	81
5.2.3. Scénario 3: Simulations avec des pluies de récurrence 2 et 10 ans .....	83
5.2.4. Scénario 4: Acheminement du ruissellement engendré par la pluie du scénario 1 vers les zones perméables (=végétalisées).....	85
5.2.5. Scénario 5: implantation de biorétentions avec infiltration complète .....	86
5.2.6. Résumé des résultats pour les simulations .....	86
5.3. Bilan hydrologique pour les scénarios 1, 3 et 5 .....	88
5.4. Vulnérabilité .....	89
5.4.1. Exposition aux aléas.....	90
5.4.2. Sensibilité sociétale .....	91
5.4.3. Sensibilité territoriale .....	94
5.5. Prise en compte des préoccupations liées à la qualité du cadre de vie .....	100
5.6. Développement d'un outil d'aide à la décision pour l'implantation de PGOSV à l'échelle du quartier ou de la ville. Outil préliminaire et résultats de l'atelier du 27 janvier 2012. ....	103
5.6.1. Résultats de l'Atelier.....	114
<b>6. Discussion.....</b>	<b>117</b>

**7. Conclusion et recommandations .....125**

7.1. Conclusion .....125

7.2. Recommandations et pistes de recherche.....126

**8. Références.....128**

**ANNEXES A**

Annexe A.1. Rapport des études de cas

Annexe A.2. Report on the Simulation of Runoff Source Control Measure Implementation Scenarios in the Built Environment of Beauport, QC

Annexe A.3. Rapport de l'étude de la sensibilité sociétale et territoriale de l'arrondissement de Beauport .

**ANNEXES B**

Annexe B.1. Liste des projets exemplaires au Canada et aux Etats-Unis.

Annexe B.2. Grille d'analyse pour la réalisation des études de cas.

Annexe B.3. Liste des contacts pour la réalisation des études de cas.

Annexe B.4. Invitation à l'atelier du 27 janvier 2012 (Québec)

Annexe B.5. Liste des participants à l'atelier du 27 janvier 2012 (Québec)

Annexe B.6. Outil d'aide à la décision révisé

## Liste des figures

Figure 1 : Noue de biorétention (Portland, USA) .....	12
Figure 2 : Implantation de PGOSV à l'échelle du site. Zone de biorétention dans le stationnement du Mountain Equipment Coop, Longueuil, QC .....	13
Figure 3 : Rôle de la végétation dans la gestion des eaux pluviales. ....	20
Figure 4 : Cycle hydrologique terrestre et bilan en mm/an pour la forêt Montmorency près de la ville de Québec .....	22
Figure 5 : La végétalisation permet d'atténuer les îlots de chaleur et d'améliorer le cadre de vie urbain. ....	25
Figure 6 : Les toits verts accueillent une biodiversité entomologique (Faculté de l'aménagement, UdeM, QC).....	26
Figure 7 : Les bassins de rétentions sont les seules PGO à avoir fait l'objet d'études spécifiques de leur perception ou acceptation par les résidents. ....	27
Figure 8 : La présence de débris dans les PGOSV (Kronsberg, Allemagne) peut nuire à leur acceptabilité sociale.....	28
Figure 9 : Les composantes d'un toit vert extensif.....	29
Figure 10 : Toit vert du Pavillon De Konninck, Université Laval, Ville de Québec, QC.....	30
Figure 11 : Bande filtrante .....	31
Figure 12 : Zone de biorétention .....	32
Figure 13 : Noue de biorétention en bordure de rue, Portland, OR.....	33
Figure 14 : Noue .....	34
Figure 15 : Noue, Kronsberg, Allemagne. ....	34
Figure 16: Processus de sélection d'une suite de PGO.....	36
Figure 17 : Gradient de complexité de déconnection des surfaces imperméables (implantation des PGO) en fonction de l'utilisation du sol du plus facile (en haut) au plus difficile (en bas). ....	42
Figure 18: Concept de vulnérabilité et relation entre la perturbation et la vulnérabilité .....	45
Figure 19 : La TOHU, Montréal, QC.....	47
Figure 20 : Marais Lac St Charles, QC .....	47
Figure 21 : Noue de biorétention en bordure de rue, Portland, USA. ....	47
Figure 22 : Jardin de pluie (biorétention) à droite, noue de biorétention en bordure de rue (gauche) Portland, USA. ....	47
Figure 23 : Situation géographique des quatre études de cas.....	49

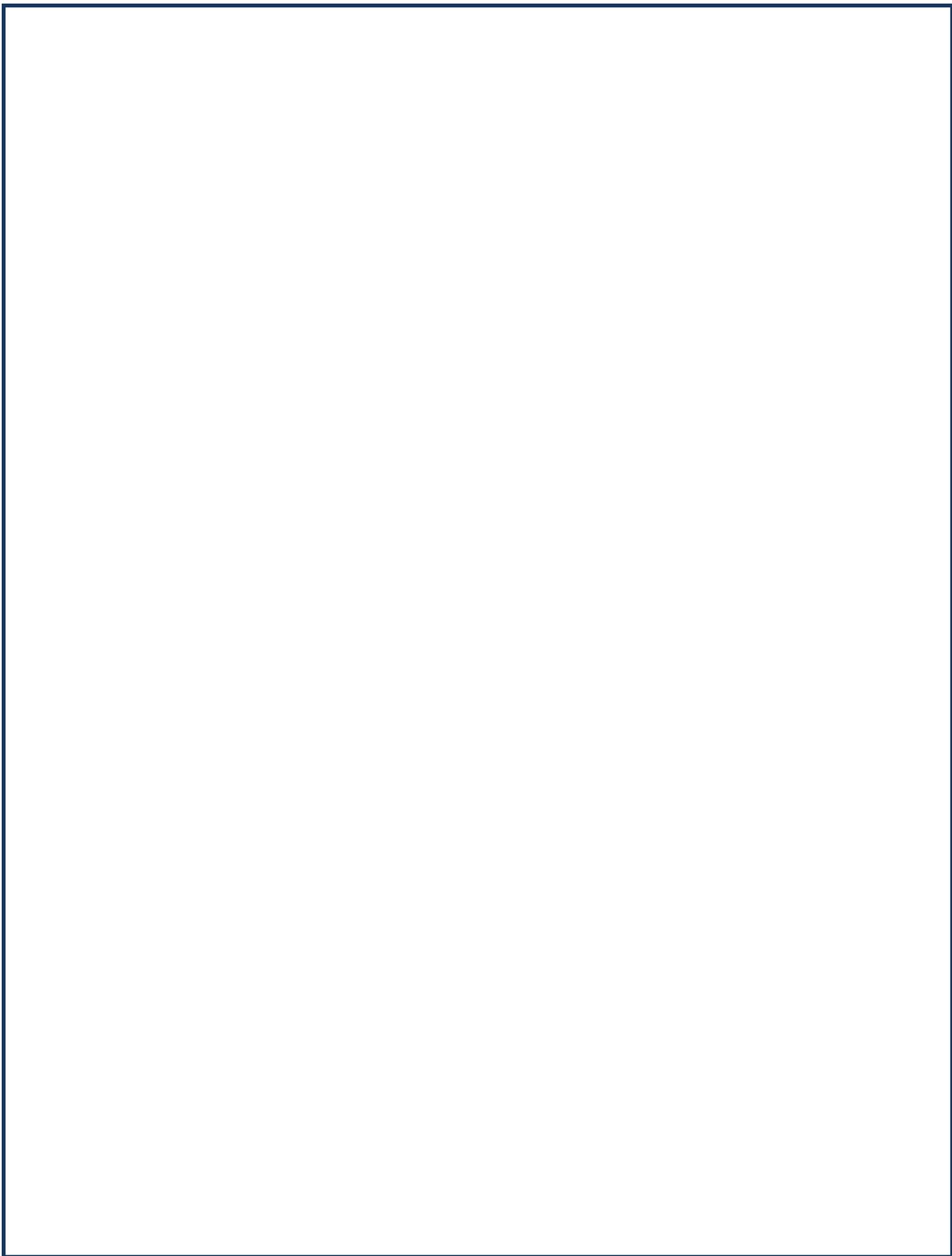
Figure 24 : Carte de localisation du secteur d'étude.....	52
Figure 25 : Périmètre du site d'étude - occupation du sol et zones de modélisation.....	52
Figure 26 : Implantation de toits verts extensifs et d'îlots de biorétention dans le secteur commercial. ....	57
Figure 27 : Implantation de zones de biorétention dans le secteur résidentiel.....	58
Figure 28 : Implantation de toits verts et de zones de biorétention dans le secteur industriel.	59
Figure 29: Conceptualisation dans le modèle SWMM .....	60
Figure 30: Conceptualisation de l'intégration des PGO dans le modèle SWMM.....	60
Figure 31: Conceptualisation d'un contrôle à la source par l'éditeur LID dans le modèle SWMM.....	61
Figure 32 : Secteurs d'étude .....	71
Figure 33 : Atelier de travail du 27 janvier 2012 (Québec).....	72
Figure 34 : <i>Mulden Rigolen</i> (noue), Kronsberg (Hanovre, Allemagne) .....	77
Figure 35 : Résultats des simulations pour le scénario 1 par zone.....	80
Figure 36 : Résultats des simulations selon le scénario 2 par zone.....	82
Figure 37 : Comparaison des résultats de simulations pour le scénario 1 et le scénario 3. ....	84
Figure 38 : Résultats des simulations pour le scénario 4.....	85
Figure 39 : Résultats des simulations pour le scénario 5.....	86
Figure 40 : Carte des îlots de chaleur .....	91
Figure 41 : Portait démographique de l'arrondissement de Beauport par aires de diffusion selon le recensement 2006 de Statistique Canada .....	92
Figure 42 : Carte de l'indice de sensibilité sociale de l'arrondissement de Beauport par aires de diffusion selon les données du recensement de 2006 de Statistique Canada .....	94
Figure 43 : Carte de l'arrondissement de Beauport avec la distribution des composantes territoriales par compilation des données de recensement de Statistique Canada, des données de la Base nationale de données topographiques (BNDT) et des informations des agences gouvernementales et municipales et par la cueillette de données sur le terrain .....	95
Figure 44 : Superposition de la matrice avec des parcelles de 400 m de large .....	96
Figure 45: Carte synthèse de la sensibilité territoriale pour l'arrondissement de Beauport par agrégation des composantes pour chaque parcelle de 400 m de largeur.....	97
Figure 46 : Carte de la sensibilité de l'arrondissement de Beauport par superposition des cartes de sensibilités sociétale et territoriale et identification des zones plus sensibles.....	98

Figure 47 : Superposition de la sensibilité globale et des îlots de chaleur pour le secteur d'étude.....	99
Figure 48 : Superposition des îlots de chaleur, de la sensibilité globale et des orientations de planification urbaine pour le secteur d'étude .....	100
Figure 49 : Cartographie des orientations de planification urbaine pour le secteur d'étude ..	101
Figure 50 : Typologies d'habitat individuel.....	102
Figure 51 : Habitat semi-collectif et habitat mobile .....	102
Figure 52: Outil d'aide à l'implantation des PGOSV à l'échelle d'un quartier ou d'une ville. .	105
Figure.53 : Carte des zones exclues du processus d'implantation. ....	107
Figure 54: Arbre de décision selon les 4 objectifs d'implantation des PGOSV.....	109
Figure 55 : Critères de choix de la zone d'intervention. Étape 3. ....	112
Figure 56 : Arborescence du choix des PGOSV.....	113

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Obstacles et solutions pour la gestion intégrée des eaux pluviales.....	40
---	----

Tableau 2 : Les grandes sections de la grille d'analyse.....	49
Tableau 3. Extrait de la grille d'analyse. Phase de mise en œuvre. Exemple de titre et sous-titres.....	50
Tableau 4. Extrait de la grille d'analyse. Exemple de titre, sous-titre et sous-catégories. ....	50
Tableau 5 : Zones de modélisation .....	53
Tableau 6 : Critères techniques d'implantation.....	54
Tableau 7 : Choix de PGOSV pour chacune des zones. ....	55
Tableau 8: Valeurs utilisées dans SWMM.....	62
Tableau 9 : Description des simulations.....	64
Tableau 10 : Liste des 12 indicateurs retenus pour l'analyse de la sensibilité sociétale .....	67
Tableau 11 : Liste des 19 indicateurs, divisés selon des thèmes, pour l'analyse de la sensibilité territoriale .....	68
Tableau 12 : Contexte.....	72
Tableau 13 : Phase de planification (1) .....	73
Tableau 14 : Phase de planification (2) .....	74
Tableau 15 : Phase de planification (3) .....	75
Tableau 16 : Phase de suivi.....	77
Tableau 17: Résultats des simulations pour le scénario 1.....	79
Tableau 18: Résultats des simulations selon le scénario 2.....	82
Tableau 19: Comparaison des résultats pour le scénario 1 et le scénario 3.....	83
Tableau 20: Pourcentage moyen d'écoulement de surface pour des pluies de 2 ans et de 10 ans (zone commerciale).....	84
Tableau 21: Comparaison des résultats de simulations du scénario 1 et du scénario 4 (zone industrielle seulement) .....	85
Tableau 22: Résultats des simulations du scénario 5. Implantation de biorétentions avec infiltration complète (zone commerciale seulement).....	87
Tableau 23: Résultats des bilans hydrologiques pour une zone de biorétention avec ou sans infiltration, pour les pluies de conception (scénario 1), de récurrence 2 ans et de récurrence 10 ans.....	89
Tableau 24 : Matrice de corrélation de la sensibilité sociétale suite à une analyse par composantes principales dans SPSS.....	92
Tableau 25 : Variables (indicateurs) dominantes de chaque composante de l'analyse par composantes .....	93



## 1. Introduction/contexte de l'étude et enjeux

Au sud du Québec, les changements climatiques affecteront le régime pluvial. Les maxima annuels et les pluies plus fréquentes seront plus intenses (Mailhot, 2008; Mailhot et coll., 2011, 2007). Ces phénomènes et une urbanisation croissante se traduiront par une augmentation des volumes et des débits de pointe des eaux de ruissellement urbaines et, conséquemment, par un accroissement des risques liés aux inondations, retours d'eau, débordements d'égout et érosion et par la dégradation de la qualité de l'eau des cours d'eau récepteurs (Semadeni-Davies et coll., 2008a,b; Mailhot et coll., 2008; Parry et coll., 2007).

Le drainage rapide des eaux de ruissellement urbaines par les systèmes de conduites liées aux égouts unitaires ou pluviaux traditionnellement implantés dans les villes exacerbe ces effets (Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs (MDDEP), 2011). Pour contrer ce phénomène, on privilégie aujourd'hui une approche intégrée de gestion des eaux pluviales. Cette approche est fondée sur l'adoption de pratiques de gestion optimales des eaux pluviales (PGO) (MDDEP, 2011). Celles-ci permettent de réduire les volumes et les débits de pointe des eaux de ruissellement et d'améliorer la qualité de l'eau. Elles visent la rétention, l'interception, la filtration, l'évaporation, l'absorption et la transpiration par les végétaux et le traitement des eaux pluviales (Boucher, 2010 ; Toronto and Region Conservation Authority, (TRCA/CVCA) 2010, 2009, 2006; Carter et Jackson, 2007 ; Mentens et coll., 2005). Les PGO à la source sont recommandées afin de réduire le ruissellement et, dans le cas de nouveaux lotissements, de s'approcher le plus possible de la situation avant développement (MDDEP, 2011 ; TRCA/CVCA, 2010). De façon générale, la réduction des surfaces imperméables, considérée une forme de PGO, contribue à réduire les vulnérabilités des communautés à l'égard des risques engendrés par les changements climatiques (Pyke et coll., 2011).

Les PGO à la source vont de la réduction des surfaces imperméables, au verdissement, aux revêtements poreux, au débranchement des gouttières, aux tranchées et bassins d'infiltration, aux puits filtrants, aux filtres à sable jusqu'au nivellement contrôlé des surfaces afin d'y retenir les eaux pluviales (MDDEP, 2011; TRCA/CVCA, 2010; Fuamba et al., 2010 a,b ; Fuamba et al., 2008 ; Minnesota, 2005 ; Conseil national de recherches du Canada, 2003). Parmi celles-ci certaines comportent des végétaux. Les pratiques optimales à la source végétalisées (PGOSV) comprennent les toits verts, les noues végétalisées (vegetated swales), les élargissement de trottoirs végétalisés, noues avec biorétention ou jardins pluviaux urbains (vegetated curb extensions), les bassins et bacs d'infiltration végétalisés ou jardins pluviaux pour édifices (vegetated infiltration basins and planters), les bandes filtrantes végétalisées (vegetated filter strips), les jardins de pluie ou zones de biorétention (rain gardens and bioretention systems) etc. D'autres PGO végétalisées telles que les marais filtrants servent à retenir les eaux pluviales et à les traiter à la sortie de l'émissaire (MDDEP, 2011; TRCA/CVCA, 2010; Kurtz, communication personnelle; Société canadienne d'hypothèque et de logement, 1996-2008; Brown et Farrelly, 2008 ; Mailhot et al., 2008 ; Minnesota, 2005 ; Riversides 2005-2009 ; City of Portland, 2004; Conseil national de recherche du Canada, 2003; Ministère de l'environnement de l'Ontario, 2003; Vermont Agency of Natural Resources, 2002).

De nombreuses études en laboratoire ou projets pilotes témoignent de l'efficacité des PGOSV en climat tempéré (Dietz et Clausen, 2008; Dunnnett et Kinsbury, 2008; Roseen et al., 2008; Saltzman et Marriott, 2008). En climat plus froid, les performances hydrauliques peuvent

diminuer pendant les mois d'hiver mais les capacités de traitement (réduction des concentrations et des charges polluantes) semblent se maintenir (TRCA/CVCA, 2009; Muthanna, 2007a,b). En témoignent des études menées sur le terrain dans les pays scandinaves (Muthanna et coll., 2008 ; Muthanna et coll., 2007) ou en Amérique du Nord, dans les provinces ou états limitrophes au Québec (TRCA/CVCA, 2009, 2006 ; van Seters et al., 2009; vander Linden et Stone, 2009; Liu et Baskaran, 2005). Des expériences effectuées en laboratoire à des températures approchant le point de congélation corroborent ces résultats (Blecken et coll., 2011, 2010). Au Québec plus particulièrement, des études pilotes ont aussi confirmé la valeur de certaines PGO végétalisées comme mesures de gestion des eaux pluviales (marais filtrants ou noues avec rétention permanentes (Babineau, 2009); jardin de pluie/bassin de rétention (Pronovost et Alarcon Garcia, 2009)). Plusieurs études, rapports prospectifs ou programmes gouvernementaux au Québec, au Canada et ailleurs considèrent ces pratiques comme des options valables d'adaptation aux changements climatiques (Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs (MDDEP), 2011; TRCA/CVCA, 2010; Dinse et al., 2009; Ville de Montréal, 2008; Commission for architecture and the built environment (CABE), 2008; Mailhot et al., 2008; Semadeni-Davies et al., 2008 a,b; Gill et al., 2007; Handley et Carter, 2006).

Enfin les PGOSV peuvent procurer un ensemble de bénéfices non seulement hydrologiques et relatifs au traitement des eaux mais aussi des bénéfices environnementaux (réduction des îlots de chaleur, biodiversité, qualité de l'air), esthétiques, d'agrément, de sécurité, etc. contribuant à l'amélioration du cadre de vie des citoyens (fig. 1) (Boucher, 2010 ; Entrix, 2010 ;TRCA/CVCA, 2010 ; Saltzmann et Marriott, 2008a ; Conseil national de recherche du Canada, 2003).



Figure 1 : Noue de biorétention (Portland, USA)  
Source : D. Dagenais

Comme dans d'autres provinces ou pays, l'intérêt pour des PGOSV est donc grandissant au Québec. Leur implantation permettrait de résoudre des problèmes actuels de retours d'eau, d'inondations et de surverses dans un contexte de remise en cause des infrastructures et des

modes de développement actuels mais aussi comme options d'adaptation aux changements climatiques (Boucher 2010; Fuamba et al., 2008; Mailhot et al., 2008). En témoignent : la publication récente du *Guide de gestion des eaux pluviales* par le Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs (MDDEP, 2011), du guide *La gestion durable des eaux de pluie* du Ministère des affaires municipales, des régions et de l'occupation du territoire (Boucher, 2010); la réalisation de quelques projets pilotes comportant des suivis de volume et de qualité de l'eau : notamment un bassin de rétention végétalisés et un marais épurateur à Québec (Babineau, 2009; Pronovost et Alarcon Garcia, 2009) et divers projets réalisés ou en cours (Dugué, 2011, 2010; Glorieux, 2011; 2010; McMeekin et Courchesne, 2011; Union Saint-Laurent Grands Lacs, 2011; Gendron et Dugué, 2009; Société québécoise de phytotechnologies, 2009).

Actuellement, l'implantation de ces systèmes s'effectue à l'échelle du site (fig. 2) ou du petit développement (Boucher, 2010 ; Babineau, 2009 ; Pronovost et Alarcon-Garcia, 2009). Selon des modélisations hydrologiques et hydrauliques (Smullen et al., 2008), l'implantation à grande échelle des mesures de gestion des eaux pluviales à la source sur l'ensemble d'un bassin versant permettrait de réduire le nombre de surverses (débordements d'égout) même lorsqu'implantées en zones densément urbanisées. Or l'augmentation des surverses constitue l'un des effets attendus des modifications aux régimes pluviaux résultant des changements climatiques (Mailhot et al., 2008). Des initiatives et des simulations ont aujourd'hui démontré l'importance de planifier cette implantation des PGO à plus grande échelle (DeBusk et coll., 2010 ; Roy et coll., 2008 ; Carter et Jackson, 2007 ; Goff et Gentry, 2006 ; City of Portland, 2005). Cette planification peut comprendre l'implantation de projets pilotes dans des sites stratégiques dans un premier temps de façon à familiariser les citoyens avec les PGOSV, une stratégie utilisée par la ville de Portland en Oregon (Kurtz, communication personnelle). Les municipalités du sud du Québec manquent cependant d'outil d'aide à la décision pour planifier l'implantation des PGOSV à grande échelle.



Figure 2 : Implantation de PGOSV à l'échelle du site. Zone de biorétention dans le stationnement du Mountain Equipment Coop, Longueuil, QC

Source : CPEUM

De nombreux outils d'aide à la décision ont été développés pour l'implantation des PGO à diverses échelles. Ceux-ci vont du simple organigramme du processus de décision à des matrices multicritères. Certains nécessitent un appareillage logiciel complexe ce qui limite leur utilisation (Deroubaix et Petrucci, sans date ; USEPA, dernière mise à jour 2 février 2012; Fuamba et al, 2011; MDDEP, 2011; Mahaut, 2011; Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, dernière mise à jour 4 février 2011; Philadelphia Water Department, 2011, 2008; Jensen et coll., 2010 ; TRCA/CVCA, 2010 ; Viavattene et coll., 2010 ; Thévenot, 2008 ; Martin et coll., 2007 ; Minnesota, 2005). Ces outils portent fréquemment sur le choix des types de PGOSV et sur leur implantation à l'échelle du site et non du quartier ou de la ville. De plus la plupart ne prennent pas adéquatement en compte l'acceptation sociale potentielle des systèmes par l'amélioration du cadre de vie des citoyens (Dagenais et coll., 2011; Fryd et coll., 2010) ou la réduction de la vulnérabilité des communautés. Enfin, on n'y retrouve pas d'indications sur les conditions plus larges à mettre en place pour assurer le succès des implantations à l'échelle municipale. Or il est important que ces aspects soient pris en compte afin de maximiser les chances de réussite à long terme d'une telle implantation (White et Alarcon, 2009; Roy et coll., 2008). Un outil bien conçu permettrait aussi de déterminer les meilleurs emplacements pour des projets pilotes pour les municipalités qui préféreraient une implantation progressive de PGOSV, ce que les outils actuels ne font pas.

La présente mise en contexte permet de dégager un certain nombre de questions de recherche puis d'objectifs au présent projet en réponse aux enjeux actuels concernant l'implantation en milieu urbain de systèmes végétalisés de contrôle à la source des eaux pluviales (PGOSV) comme option d'adaptation aux changements climatiques pour les municipalités du Sud du Québec.

### **1.1. Questions de recherche**

- Quelles sont les conditions favorisant l'implantation des PGOSV à l'échelle de la ville ou du quartier?
- Quels sont les impacts hydrologiques de cette implantation?
- Comment maximiser les bénéfices indirects liés à cette implantation?
- Comment choisir à l'échelle du quartier les meilleurs sites d'implantation et les meilleures PGOSV afin de rencontrer les objectifs de performances techniques (hydrologiques et qualité de l'eau etc.) et de maximiser les bénéfices indirects?

Ces questions de recherche mènent aux objectifs initiaux du projet:

Objectif général

- Guider les décideurs, planificateurs municipaux et autres concepteurs de projets dans le choix et l'emplacement de projets de systèmes végétalisés de gestion à la source des eaux pluviales urbaines de façon à en maximiser les chances de réussite tant sous l'aspect des performances hydrologiques (quantité et qualité) que de l'esthétique,

de l'intégration paysagère, de l'amélioration du cadre de vie et de l'acceptabilité sociale de ces systèmes. L'implantation de tels systèmes sera envisagée comme option d'adaptation aux changements climatiques pour les municipalités.

#### Objectifs spécifiques

- Établir un état des connaissances sur le design (technique et esthétique), la performance (réduction des volumes, des débits de pointe, amélioration de la qualité de l'eau), l'intégration paysagère, l'amélioration du cadre de vie et l'acceptabilité sociale des systèmes végétalisés de gestion à la source des eaux pluviales et de ruissellement en milieu urbain au sud du Québec mais aussi ailleurs au Canada et à l'étranger et leurs conditions de réussite incluant les projets présentement en cours. Les projets ou recherches effectués sous des climats similaires au climat du sud du Québec feront l'objet d'une attention particulière. La recension pourrait être étendue à d'autres infrastructures vertes ou non lorsque jugé pertinent.
- Recenser des cas et pratiques exemplaires au Québec, au Canada et à l'étranger, soit des pratiques les plus susceptibles de rencontrer les besoins pressentis tout à la fois en matière de gestion des eaux pluviales mais en matière de qualité des paysages et du cadre de vie, d'augmentation de la résilience des collectivités etc. Les projets conçus en réponse aux changements climatiques et réalisés dans des conditions climatiques similaires à celles du sud du Québec feront l'objet d'une recension plus étoffée.
- Développement d'un cadre préliminaire d'implantation de projets au sein d'un quartier urbain prenant en compte les besoins et fonctions spécifiques sur divers plans (type d'infrastructure, caractéristiques hydrologiques, topographiques, pédologiques, qualités paysagères, acceptabilité sociale, vulnérabilité/ résilience de la collectivité ou de segments de la collectivité).
- Illustration du cadre d'implantation sur le terrain à partir d'un quartier spécifique d'au moins une des deux villes partenaires (Montréal et Québec)
  - Établissement d'une carte des zones inondables et de retours d'égout et vulnérabilité physique et environnementale pour le quartier choisi soit en fonction de trois scénarios de changements climatiques en lien avec la proposition soumise par Isabelle Thomas-Maret soit par l'examen de données historiques des inondations et retours d'égouts
  - Sur la base d'une mise en relation des recommandations identifiées à la suite du balisage des pratiques exemplaires, identification et illustration des conditions et scénarios possibles d'implantation d'infrastructure de gestion des eaux pluviales qui intègrent de manière optimale les diverses fonctions recherchées tant au plan hydrologique qu'au plan de la mise en valeur paysagère et de l'amélioration du cadre de vie.

- Production d'un rapport de recherche présentant le cadre développé et les résultats des diverses étapes du projet

Le rapport ou certaines sections du rapport (inventaire des bonnes pratiques, cadre l'implantation) pourraient faire l'objet de publications spécifiques financées par d'autres sources. Ultérieurement l'activité pourrait résulter en la mise sur pied d'une campagne de sensibilisation du public des quartiers visés au moment de concevoir les projets pilotes. Elle pourrait être entreprise avec les municipalités et des organismes œuvrant dans ce domaine. Selon les intérêts des partenaires municipaux, des projets de recherche ultérieurs portant sur le suivi de projets pilotes, l'accroissement des performances des systèmes, le choix des végétaux, le design participatif de ce type de structures, l'amélioration potentielle du cadre de vie par les projets réalisés et l'acceptabilité de ces projets pourraient être envisagés.

## **1.2. Précisions sur le déroulement actuel du projet**

Le présent projet a requis le travail d'une équipe multidisciplinaire formée de spécialistes de l'hydrologie urbaine, des phytotechnologies, du paysage et du cadre de vie de même que de la vulnérabilité et des adaptations aux changements climatiques. Ceci explique que chaque section du projet ait été subdivisée en plusieurs sous-sections reflétant chacun des volets du projet: études de cas exemplaires d'implantation à l'échelle municipale ; simulation de l'implantation de PGOSV dans un quartier ; étude de la vulnérabilité ; détermination du potentiel d'amélioration du cadre de vie et enfin développement d'un outil d'aide à la décision.

Il faut préciser que certaines modifications aux objectifs ont dû être apportées en cours de réalisation de l'étude. Ainsi, tel que spécifié dans les objectifs, la présente recherche devait être liée au projet de Thomas-Maret et coll. Analyser la vulnérabilité sociétale et territoriale aux inondations en milieu urbain dans le contexte des changements climatiques, en prenant comme cas d'étude la Ville de Montréal, subventionné par le consortium Ouranos. La méthodologie développée dans ce dernier projet devait servir à déterminer et cartographier l'adaptation puis la vulnérabilité pour le quartier à l'étude dans la présente recherche. Or les deux projets n'ont pu porter ni sur le même quartier, ni sur la même ville. Cette situation a considérablement compromis la coordination entre ce volet et le reste de la présente étude.

Par ailleurs, il s'est avéré utile en cours de projet d'arrimer le volet d'illustration du cadre d'implantation sur le terrain à partir d'un quartier spécifique au projet Gestion des eaux pluviales et changements climatiques de l'équipe d'Alain Mailhot, projet aussi subventionné par le consortium Ouranos. Les deux équipes ont donc résolu de travailler sur le même quartier afin de partager les données et de bénéficier du développement de la procédure l'implantation en cours dans le présent projet.

## **2. Revue de la littérature et définition des concepts**

La présente revue de littérature vise à établir l'état des connaissances et l'avancement de la recherche pour chacun des multiples aspects du projet. Cette revue permettra d'identifier les lacunes que le présent projet ou des recherches futures pourront chercher à combler.

## **2.1. Impact des changements climatiques et de l'urbanisation sur le cycle de l'eau dans les municipalités du Sud du Québec**

Au sud du Québec, le régime pluvial sera fortement affecté par les changements climatiques. Les maxima annuels et la récurrence des pluies d'une hauteur et durée données augmenteront (Mailhot et coll., 2011, 2008, 2007). Utilisant le Modèle de climat régional canadien, Mailhot et coll., (2007) ont estimé avec un intervalle de confiance de 90% que la hauteur de la pluie maximale annuelle de 2 heures entre mai et octobre augmenterait pour les périodes de retour de 2 à 25 ans. Cette augmentation serait statistiquement significative pour les pluies de 24 h de récurrence 2 et 5 ans. La récurrence des pluies de hauteur équivalente à celles des pluies de 2 et 6 h diminuerait de moitié, celle des pluies de 12 et 24 h, du tiers, pour les périodes de retour de 2 et 5 ans. Notons qu'actuellement, une pluie de fréquence 2 ans et d'une durée 6 heures atteint une hauteur de 36,7 mm pour le Sud du Québec (MDDEP, 2011) et que 90% des pluies annuelles présentent une hauteur de moins de 22 mm dans la région montréalaise et de moins de 26 mm dans la région de Québec (MDDEP, 2011).

Parallèlement au phénomène des changements climatiques, le territoire du Sud du Québec devient de plus en plus urbain. Le territoire de la communauté métropolitaine de Montréal, s'urbanise à raison d'environ 10 km<sup>2</sup>/an alors que les surfaces boisées y sont réduites de 7 km<sup>2</sup>/année. Autrement dit, l'urbanisation se traduit par une augmentation des surfaces imperméabilisées et une réduction des surfaces végétalisées ce qui accroît les volumes et les débits de pointe des eaux de ruissellement dans ces territoires. Le taux d'imperméabilisation des surfaces varie selon l'occupation du sol, du résidentiel de faible densité (0,1 à 0,3) au résidentiel de forte densité, commerces, bureaux, industries (0,7 à 0,8) (Cavayas et Beaudouin, 2008). La situation dans la Communauté métropolitaine de Québec s'apparente à celle de la communauté montréalaise (Ville de Québec, 2012).

Conséquence de cette urbanisation, les égouts unitaires des villes du Québec peuvent déborder dans les cours d'eau environnants jusqu'à 50 reprises au cours d'une année d'après des chiffres publiés en 2002. Ces débordements d'eaux usées non traitées ont des conséquences très néfastes sur la qualité des cours d'eau récepteurs (MDDEP, 2002). Par ailleurs, la contamination des cours d'eau récepteur par les eaux de ruissellement pluviales acheminées ou non par un égout séparé est maintenant bien documentée. Au cours de leur ruissellement sur les surfaces urbaines, les eaux de ruissellement accumulent de nombreux contaminants : matières en suspension (MES), matière organique biodégradable, éléments nutritifs (azote, phosphore), métaux lourds (zinc plomb, cuivre), sels de déverglaçage (ions chlorure et sodium), polluants organiques persistants, pesticides, hydrocarbures, bactéries et virus d'origine fécale (TRCA/CVCA, 2010; Ontario, 2003; Marsalek et coll., 2001). À tel point que l'amélioration de la qualité des eaux de ruissellement se déversant dans les cours d'eau constitue d'ailleurs un objectif à part entière (4.2) du Plan de développement durable de la collectivité montréalaise. Cet objectif vise ultimement bien sûr à réduire la pollution des cours d'eau récepteurs (Ville de Montréal, 2010).

Des recherches indiquent que les effets couplés de l'urbanisation et des changements climatiques se traduiront par une augmentation conséquente des volumes et des débits de pointe des eaux de ruissellement urbaines et de fait par un accroissement des inondations, retours d'eau, débordement, érosion et par la détérioration de la qualité de l'eau des cours d'eau récepteurs (Semadeni-Davies et coll., 2008 a,b; Mailhot, 2008; Parry et coll., 2007). Un tel constat amène chercheurs et organismes à militer en faveur d'une révision des modes

de gestions des eaux pluviales de façon à faire face aux défis conjugués de l'urbanisation et de l'adaptation aux changements climatiques (MAMROT, 2009 ; Dietz et Clausen, 2008 ; Mailhot, 2008 ; Dietz, 2007 ; Agence du développement économiques pour les régions du Québec, 2005 ; Marsalek et coll., 2001).

## **2.2. Gestion intégrée des eaux pluviales et principes du Low Impact Development**

Depuis une dizaine d'année, le mode préconisé de gestion des eaux pluviales urbaines est passé du tout conduite à une gestion élargie intégrant diverses échelles, du bassin versant au lot privé, et une palette d'interventions. Cette gestion intégrée inclut à la fois le système de drainage urbain traditionnel, des mesures diffuses de contrôle à la source ou en fin d'émissaires et des modes de développement urbain à moindre impact sur les cycles hydrologiques (MDDEP, 2011; TRCA/CVCA, 2010). Ce passage s'est effectué suite à la prise de conscience de l'importance de la pollution diffuse sur la qualité des cours d'eau dans la foulée des études menées par l'Environmental Protection Agency américaine (USEPA) depuis les années 1960 (USEPA, 1983 ; MDDEP, 2011) et par Environnement Canada depuis le début des années 1970 (MacLeod et coll., 2004). L'adoption du Clean Water Act en 1972 aux États-Unis a resserré les exigences de contrôle à la source de la pollution diffuse. En Amérique du Nord, les pratiques visant à rencontrer ces exigences ont pris le nom de Best Management Practices (Ice, 2004). Ce terme est maintenant traduit en français sous le nom de Pratiques de gestion optimales (PGO) (MDDEP, 2011).

Parallèlement au développement des PGO, diverses approches d'aménagement visant à minimiser les impacts du développement sur l'hydrologie des sites ont vu le jour. Ainsi le Low Impact Développement (LID) a été élaboré dans le comté de Prince George au Maryland dans les années 1990 (Dietz, 2007). L'approche du LID peut être définie comme une approche intégrée de planification et d'ingénierie visant à conserver et améliorer le régime hydrologique d'avant développement dans les bassins versants urbanisés ou en développement (traduit et adapté de Low Impact Development Center, 2011 ; TRCA/CVCA, 2010). Cette approche s'appuie sur les principes suivants :

- Planifier de façon à conserver les systèmes naturels existants
- Réduire les perturbations des milieux naturels lors du développement
- Réduire le ruissellement (débit, volume)/ réduire l'imperméabilisation des surfaces/augmenter la végétalisation
- Contrôler et traiter à la source/accroître l'infiltration/réduire les sources de polluants et leurs concentrations/ filtrer ou absorber les polluants
- Concevoir des systèmes multifonctionnels répondant à plusieurs objectifs techniques, environnementaux et sociaux
- Entretenir les systèmes et éduquer la population (Adapté de TRCA/CVCA, 2010; Minnesota, 2005).

Le principe fondamental du LID consiste à gérer les eaux de ruissellement à la source (USEPA, dernière mise à jour, 30 novembre 2011). Il existe plusieurs approches apparentées au LID soit les Leader in Environment and Energy Design (LEED), Conservation Design, Better Site Design, Design with Nature, Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), Water

Sensitive Urban Design (WSUD) et stormwater source controls (TRCA/CVCA, 2010; Minnesota, 2005).

### **2.3. Pratiques de gestion optimales des eaux pluviales**

Les pratiques de gestion optimales des eaux pluviales comprennent un ensemble de pratiques destinées à réduire les volumes de ruissellement résultant de l'urbanisation et autres modes d'aménagement du territoire. Le *Guide de gestion des eaux pluviales* du Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec (MDDEP, 2011) regroupe ces pratiques en pratiques non structurales et structurales. Les premières incluent des actions, des règlements et principes de développement. Elles vont de la gestion des pesticides au nettoyage des surfaces jusqu'à la mise en pratique des principes du Low Impact Development, (Low Impact Development Center, 2011 ; TRCA/CVCA, 2010 ; Fuamba et coll., 2010 a,b, 2008 ; Dietz, 2007; Minnesota, 2005; Conseil national de recherches du Canada, 2003). Rappelons que le LID préconise le recours à des mesures de gestion à la source des eaux pluviales alors que les PGO englobent l'ensemble des pratiques optimales visant à gérer les eaux pluviales tant à la source qu'à la sortie de l'émissaire. De systèmes visant à augmenter la qualité des eaux de ruissellement, les PGO sont de plus en plus considérées comme des systèmes permettant de réduire les volumes et les débits de pointe des eaux de ruissellement.

Les PGO structurales comprennent des mesures ou structures implantées de façon permanente sur le territoire afin de réduire et de traiter les eaux de ruissellement, à la source ou en fin de traitement.

Voici des exemples de ces mesures et systèmes:

1. Les contenants pour récolter l'eau de pluie
2. Les toits verts
3. Le débranchement des gouttières
4. Le verdissement
5. Le nivellement contrôlé des surfaces afin d'y retenir les eaux pluviales
6. Les puits et tranchées d'infiltration
7. Les tuyaux perforés
8. Les pavés poreux
9. Les filtres à sable
10. Les noues
11. Les bandes filtrantes
12. Les zones de biorétention
13. Les bassins d'infiltration, végétalisés ou non
14. Les bassins de rétention secs, végétalisés ou non
15. Les bassins avec retenue permanente, végétalisés ou non
16. Les marais filtrants

(MDDEP, 2011 ; TRCA/CVCA, 2010 ; Fuamba et coll., 2010 a,b, 2008 ; Kurtz, 2009; Société canadienne d'hypothèque et de logement, 1996-2008; Brown et Farrelly, 2008 ; Mailhot, 2008 ; Minnesota, 2005 ; Riversides 2005-2009 ; City of Portland, 2004; Conseil national de

recherche du Canada, 2003; Ministère de l'environnement de l'Ontario, 2003; Vermont Agency of Natural Resources, 2002).

Ces systèmes tirent parti de l'un ou l'autre ou de tous les processus suivants: la rétention, la filtration, le traitement, l'infiltration et l'évaporation des eaux pluviales auxquels s'ajoutent l'interception, l'absorption et la transpiration pour les systèmes végétalisés (fig. 3). Les douze premiers systèmes de la liste permettent de gérer les eaux pluviales à la source. Outre le simple verdissement, les noues, les bandes filtrantes, les zones de biorétention, les bassins d'infiltration et de rétention végétalisés et les marais filtrants comportent des végétaux.

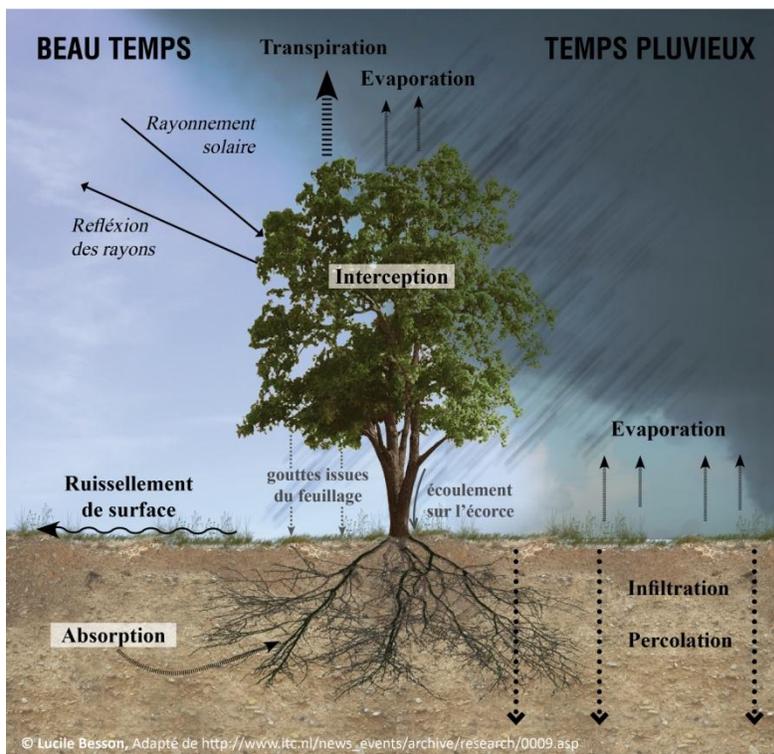


Figure 3 : Rôle de la végétation dans la gestion des eaux pluviales.

Source : L. Besson

#### 2.4. Avantage des systèmes végétalisés et rôle des végétaux et du sol dans ces systèmes<sup>1</sup>

Tel que mentionné précédemment, plusieurs études indiquent que le recours à des systèmes végétalisés comportent plusieurs avantages notamment du fait que la végétation et le sol

<sup>1</sup> Ces sections ont été tirées d'une publication à venir du Bureau de Normalisation du Québec sur l'aménagement des stationnements en vue de contrer les îlots de chaleur. Elles ont été rédigées dans la publication par Dagenais.

contribuent à la réduction des volumes et des débits de pointe et au traitement des eaux pluviales.

#### **2.4.1. Réduction des volumes et des débits de pointe**

Lors d'une pluie, les parties aériennes de la végétation (feuilles, rameaux, tiges, troncs) de même que la litière formée des feuilles et autres débris au sol interceptent l'eau de pluie. Une partie de l'eau interceptée s'évapore ou dans le cas de la neige se sublime à partir de ces surfaces avant même de toucher le sol (Brady et Weil, 2002). Le taux d'interception serait de 15% à 25% annuellement pour une forêt de feuillus et de 25 à 40% pour une forêt de résineux voire même de 45 à 60% si cette forêt est très dense. Ce taux d'interception est tributaire de l'âge et la densité du peuplement ainsi que des espèces présentes (Barry et coll., 2009). Un seul arbre pourrait intercepter 6,6 m<sup>3</sup> de pluie annuellement (Labrecque et Vergriete, 2006). Le taux d'interception varie selon l'importance du feuillage et donc selon la saison, selon son architecture (la taille des rameaux et leur disposition) et le type d'écorce (Barry et coll., 2009; Labrecque et Vergriete, 2006; Lymes, 2000). Généralement on considère que les arbres interceptent davantage de pluie que les arbustes, les arbrisseaux puis les herbacées (Marsh, 2005). L'intensité et la durée de la pluie, la vitesse du vent et d'autres facteurs climatiques vont jouer sur l'interception d'une pluie donnée (Barry et coll., 2009; Labrecque et Vergriete, 2006; Lymes, 2000).

La partie de l'eau initialement retenue par l'arbre et non évaporée atteindra éventuellement le sol. Elle peut glisser le long du tronc ou tomber directement de la canopée (Barry et coll., 2009; Brady et Weil, 2002). Le passage de la pluie à travers la végétation diminue la vitesse des gouttes de pluie et donc la compaction résultant de leur impact sur le sol. Ce phénomène contribue à préserver la perméabilité du sol et ainsi à réduire l'ampleur des débits de pointe et l'érosion (USEPA, 2006; Marsh, 2005; Metropolitan Council of Minnesota Twin Cities, 2003; Ontario Ministry of Environment, 2003; Brady et Weil, 2002).

Cette diminution du débit favorise l'infiltration des eaux de ruissellement (USEPA, dernière mise à jour 24 mai 2006) c'est à dire le « flux d'eau pénétrant dans le sol en surface » (Musy et Higgy, 2004 :169). La texture (teneur en argile, limon et sable) et la structure (granulaire ou non) du sol jouent sur le degré d'infiltration. À texture équivalente, un sol granulaire sera plus perméable qu'un sol compacté. À structure équivalente, plus un sol sera argileux, plus il sera imperméable. Plus il sera sableux, plus il sera perméable (Brady et Weil, 2002). Le taux d'infiltration est fonction de la texture du sol, de sa structure mais aussi de sa teneur en eau, de l'intensité des pluies et de la température (Hidcote, 2010).

Les végétaux favorisent aussi l'infiltration des eaux pluviales en conservant ou l'améliorant la porosité du sol de deux autres façons. D'une part la matière organique produite par la décomposition des fragments de racines mortes et de la litière au sol cimente en quelque sorte les particules de sol et les débris. Cela permet la formation de granules et donc d'une structure granulaire. D'autre part, les racines des végétaux et les activités de la pédofaune associée à ces dernières (ex : les vers de terre) créent des pores de dimensions importantes (macropores). Structure granulaire et macropores favorisent la circulation de l'eau et de l'air (fig. 3) et donc la perméabilité du sol (Brady et Weil, 2002; Marsh 2005). Les végétaux comportant des racines plus épaisses seraient particulièrement efficaces à ce chapitre (Lewis et coll., 2008).

On estime qu'en milieu naturel, environ 50-64% de l'eau de pluie s'infiltré dans le sol (MDDEP, 2011; Riverside Stewardship Alliance, 2006). Dans le bilan hydrique de la forêt Montmorency de 50 à 71% des 1400 mm de précipitations annuelles pénétrait dans le sol (Barry et coll., 2009) (Fig.4).

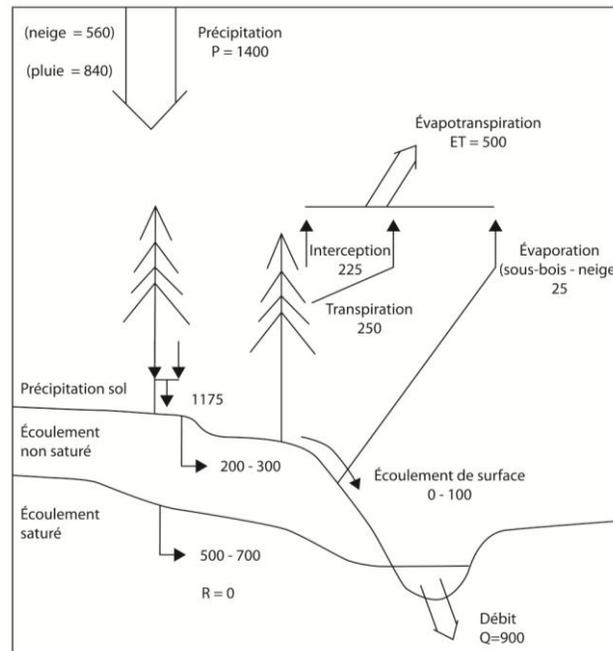


Figure 4 : Cycle hydrologique terrestre et bilan en mm/an pour la forêt Montmorency près de la ville de Québec  
Source : Barry et coll., 2009, p.321

Les végétaux absorbent une partie de l'eau infiltrée dans le sol soit 15 à 35% du total des précipitations. Celle-ci est soit intégrée à leur biomasse soit transpirée (Brady et Weil, 2002; Marsh 2005).

La transpiration des végétaux s'effectue par les stomates, de petites ouvertures dans l'épiderme des feuilles (Meyer et coll., 2008). De 200 à 400 litres d'eau par jour peuvent être ainsi retournés à l'atmosphère par un arbre. De 300 à 700 kg (l) d'eau transitent dans la plante pour chaque kilogramme de biomasse produite (Meyer et coll., 2008), 200 à 400 kg/kg de biomasse en climat humide et jusqu'à 1000 kg/kg, en climat sec selon Barry et Weil (2002). On estime qu'un chêne de grande taille (taille, espèce et localité non spécifiées) peut transpirer plus de 151 400 litres (40 000 gal) d'eau par année (USEPA, 2008). Dans le bilan hydrique de la forêt Montmorency, 250 mm (18%) d'eau étaient retournés annuellement à l'atmosphère par la seule transpiration, 225 mm (16%), par l'évaporation de l'eau interceptée et 25 mm (2%) étaient évaporés à partir du sol pour un total de 500 mm d'évapotranspiration (36%). La moitié de l'évapotranspiration était donc due à la seule transpiration, donc à l'action des végétaux (Barry et coll., 2009). De même, dans une étude menée au Sud-Est des États

Unis, 50% de l'évapotranspiration d'une forêt décidue était dû à la transpiration (Wilson et coll., 2001).

L'inclusion de végétaux aux PGO peut améliorer sensiblement leur performance hydrologique selon plusieurs études. Ainsi, en Caroline du Nord et au Maryland, le phénomène d'évapotranspiration était responsable de 19% de la réduction du volume d'eaux de ruissellement tel que mesuré lors de 33 événements pluviaux survenus entre juin 2004 et décembre 2004. La zone de biorétention ayant fait l'objet de ce suivi était dotée d'un fond imperméable qui prévenait l'infiltration dans le sol environnant (Li et coll., 2009). Dans une expérience semblable menée en Australie entre décembre 2005 et décembre 2006, 42% des volumes d'eaux de ruissellement engendrés par 51 événements pluviaux était retourné à l'atmosphère par évapotranspiration. Des tests de conductivité hydraulique effectués dans le cadre de cette étude semblent confirmer le rôle important des végétaux dans le maintien ou l'amélioration de la conductivité hydraulique des PGOSV (Lewis et coll., 2008). Une étude réalisée dans le nord-ouest des États-Unis a comparé la rétention des eaux pluviales d'un toit avec substrat et végétaux et celle d'un toit avec substrat seulement pendant la saison de croissance sèche (été) et en hiver (saison humide). Dans le premier cas, la performance du toit avec végétaux était significativement plus élevée (+13%) que celle du toit avec substrat seulement. En hiver, aucune différence significative n'était mesurée. Autrement dit, en hiver, la rétention d'eau alors observée n'était due qu'au substrat et au toit lui-même (Schroll et coll., 2011). Une autre étude réalisée dans un climat plus comparable au nôtre soit en Pennsylvanie a démontré qu'un toit planté de *Sedum* pouvait retenir jusqu'à 40% plus d'eau pluviale en été qu'un toit couvert de substrat seulement (Berghage cité dans Schroll, et coll., 2011). Le type de végétation et le climat ont une influence sur la contribution des végétaux à la rétention des eaux pluviales (Schroll et coll., 2011; Wolf et Lundholm, 2008).

Enfin, des recherches récentes semblent indiquer que les végétaux aideraient à réduire le colmatage des surfaces des systèmes d'infiltration des eaux pluviales (Le Coustumer et coll., 2012).

Ces recherches démontrent le rôle important des végétaux dans la réduction des volumes et des débits de pointe d'eaux de ruissellement et l'importance d'un choix judicieux d'espèces.

#### **2.4.2. Amélioration de la qualité des eaux de ruissellement**

Les eaux de ruissellement d'une route ou d'un stationnement contiennent diverses substances polluantes telles les MES, les huiles et graisses, les métaux lourds et métalloïdes (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, plomb, mercure, et zinc), les sels de déglacage (chlorure de sodium) et/ou divers types de nutriments (azote, phosphore) (Trowsdale et Simcock, 2011; Pronovost et Alarçon-Garcia, 2009). Ces substances peuvent provenir de plusieurs sources: des produits pétroliers utilisés pour propulser ou entretenir les véhicules; de l'usure d'une partie de la chaussée ou des véhicules (huiles et graisses, autres produits pétroliers, métaux et métalloïdes), de l'entretien de la chaussée en période hivernale (sable, sels), des excréments d'animaux (nutriments, bactéries, virus fécaux) ou encore de l'entretien des aménagements paysagers (pesticides, herbicides, nutriments), voire même de l'atmosphère, etc. (Ministère de l'environnement de l'Ontario, 2003).

Les études sur le traitement de l'eau par les diverses PGO végétalisées concluent généralement à l'efficacité de ces dernières pour retirer les polluants, surtout en présence d'un système de prétraitement pour retirer une partie des matières en suspension et pour séparer les huiles (MDDEP 2011). En effet, outre le sol contenu dans ces PGO, les végétaux participent à l'amélioration de la qualité des eaux pluviales à plusieurs égards. Leurs parties aériennes agissent comme un filtre contribuant à la rétention des matières en suspension (MES) et des matières flottantes. En ralentissant le débit des eaux de ruissellement, les végétaux favorisent une sédimentation plus importante des MES. Les MES nuisent à la qualité de l'eau en augmentant sa turbidité et par les polluants qui y peuvent y être adsorbés. Ces polluants incluent les métaux lourds tels que cuivre, zinc et plomb, les nutriments tels que phosphates ou azote ammoniacal et les pathogènes, bactéries et virus. L'enlèvement des MES constitue donc une mesure très efficace de réduction de la pollution des eaux de ruissellement. Il faut noter que le sol joue aussi un rôle dans la filtration des MES (Mathunna et coll. 2007; Dietz et Clausen, 2005 ; Metropolitan Council of Minnesota Twin Cities, 2003; Ontario Ministry of Environment, 2003).

Une importante vie microbienne est par ailleurs associée à la rhizosphère végétale à cause de la présence d'exsudats racinaires et de débris de racines mortes (phénomène de rhizodéposition). Ceux-ci constituent des habitats et des sources d'énergie et de nutriments pour les microorganismes. La présence de racines permet aussi le maintien d'une bonne porosité d'aération ce qui favorise la prolifération des microorganismes (voir explication plus haut) (Brady et Weil, 2002). Les microorganismes présents dans la rhizosphère sont responsables de la dégradation et de la minéralisation de la matière organique et de la dégradation de polluants organiques (produits pétroliers par exemple), de même que de l'immobilisation à plus ou moins long terme de certains nutriments et métaux lourds (Jiao et coll., 2007).

Les végétaux peuvent absorber une certaine partie des nutriments (azote surtout) contenus dans les eaux pluviales ou résultant de la minéralisation de la matière organique de même que certains métaux lourds. Les particules de sol, argile principalement, ainsi que la matière organique présente dans le sol ou sur le sol (litière, paillis), adsorbent aussi une fraction des nutriments et polluants. Ce phénomène touche surtout le phosphore et les métaux lourds ; les nitrites et nitrates étant plus solubles. Des échanges cationiques surviennent à la surface des particules de sol et de la matière organique pouvant ainsi réduire ainsi la concentration de certains cations dans l'eau. Toutes ces réactions varient entre autres selon pH du sol (Maltais-Landry et coll., 2007; Song et coll., 2007; Jiao et coll., 2007; Mathunna et coll. 2007; Minnesota, 2005; Dietz et Clausen, 2005; Hunt et White, 2001; Yong et Phadungchewit, 1993).

Certaines caractéristiques du système racinaire seraient responsables des variations d'enlèvement des nutriments observées entre les espèces de végétaux selon une étude effectuée par Read et coll. (2012), alors que le sol serait principalement responsable du degré d'enlèvement des métaux lourds. Ainsi, des racines fines et denses (ex : herbacées du genre *Carex*) amélioreraient les performances d'enlèvement des nutriments. Par contre, les végétaux à racines plus épaisses produisant des macropores de plus grandes dimensions qui favoriseraient davantage le maintien de la conductivité hydraulique. Une plantation mixte regroupant des espèces différant selon ces caractéristiques serait donc souhaitable selon les auteurs (Read et coll., 2012).

### 2.4.3. Autres avantages environnementaux

La végétalisation des surfaces permet généralement de réduire les îlots de chaleur (Cavayas et Beaudouin, 2008; Mailhot, 2008; Giguère, 2009; USEPA, 2008; McPherson et coll., 1997; Oke et coll., 1989). Les végétaux, les arbres en particulier, réduisent par leur ombrage les températures de l'air sous leur canopée (Lindberg et Grimmon, 2011; Leuzinger et coll., 2010 ; Olivier et coll.; 2010; Oke et coll., 1989) (Fig. 5). De plus la transpiration à partir des feuilles et l'évaporation de l'eau à partir des végétaux et du sol ont un effet climatiseur sur l'air ambiant (Hamada et Ohta, 2010 ; Olivier et coll., 2010 ; Vergriete et Labrecque, 2007).

Selon des recherches rapportées par Taha (1997), des différences de 2,5°C ont été mesurées à Montréal entre des parcs et des zones bâties situées à proximité. Une différence de 2°C a été mesurée à New York lors d'une autre étude (Susca et coll., 2009). Un écart de 2°C à 6°C a été trouvé le jour à Davis en Californie entre un verger et une surface de sol nu située à proximité. À 50 cm au-dessus d'une pelouse de graminées, la différence atteignait 8°C (Taha, 1997). La température pouvait cependant demeurer plus élevée de 2°C dans le verger pendant la nuit sans doute dû à la fermeture de la canopée. L'auteur a émis l'hypothèse que cette dernière nuit à la dissipation nocturne de la chaleur (Taha, 1997). Un tel phénomène n'a pas nécessairement cours dans des zones moins densément arborées cependant. Ainsi, à Singapour, Yu et coll. (2003) ont observé des écarts de 4,2°C entre l'air au-dessus d'un toit végétalisé et d'un toit non végétalisé. L'irradiation de chaleur pendant la nuit était aussi moins élevée. L'un des avantages des toits verts consiste justement à réduire les îlots thermiques urbains (Susca et coll., 2011). L'albédo des toits verts et de plusieurs surfaces végétalisées est d'ailleurs plus élevé que celui des surfaces asphaltée (Susca et col., 2011, Goodman , 1999). Par contre, les arbres peuvent avoir des albédos plutôt faibles (Goodman, 1999).



Figure 5 : La végétalisation permet d'atténuer les îlots de chaleur et d'améliorer le cadre de vie urbain.

Source : CPEUM

Le maintien du couvert arboré (forêt urbaine) et la plantation d'arbres en milieu urbain comptent donc parmi les mesures d'atténuation des îlots de chaleur mises de l'avant par les organismes de santé publique (Giguère, 2009). L'implantation de systèmes végétalisés représente donc d'une mesure d'adaptation aux changements climatiques à un double titre puisque les effets d'îlots thermiques urbains sont appelés à augmenter suite aux changements climatiques (Gill et coll., 2007).

L'utilisation de systèmes végétalisés contribue aussi à l'augmentation de la biodiversité. D'une part, le seul fait de planter des espèces végétales naturalisées ou indigènes en lieu et place d'une surface non végétalisée contribue à augmenter la biodiversité floristique. Par ailleurs, les espaces végétalisés tant les végétaux eux-mêmes que leurs débris ou même le sol servent d'habitat à une faune variée. Cette faune comprend des invertébrés notamment des insectes parmi lesquels des pollinisateurs et des vertébrés dont les oiseaux etc. (Colla et coll., 2009; Hunter et Hunter, 2008 ; Miller, 2008). Les toits verts sont utilisés comme habitats par des invertébrés soit des insectes tels que coléoptères (*Coleoptera*), punaises (*Heteroptera*), abeilles, guêpes et fourmis (*Hymenoptera*) ou des araignées (*Araneae*) comme le démontrent des études menées en Suisse, en Allemagne et au Royaume-Uni. Certaines des espèces inventoriées sont des espèces rares ou jamais observées auparavant dans la ville à l'étude. Certains oiseaux y nichent aussi (Colla et coll., 2009; Kadas, 2009; Hunter et Hunter, 2008; Miller, 2008; Breinensen, 2001). Selon des études menées à Melbourne en Australie et à Upton au Royaume-Uni, des noues de biorétention végétalisées (swales) abriteraient plus d'espèces et une plus grande diversité d'espèces que des plates-bandes ou pelouses environnantes. Les ordres d'invertébrés retrouvés dans les zones de biorétention étaient les ordres *Hymenoptera* (abeilles, guêpes, fourmis), suivi de *Diptera* (mouches), *Coleoptera* et *Araneae* (araignées) (Kazemi et coll., 2011; Jackson et Boutle, 2008) (fig. 6).



Figure 6 : Les toits verts accueillent une biodiversité entomologique (Faculté de l'aménagement, UdeM, QC  
Source : CPEUM

#### 2.4.4. Amélioration de l'acceptabilité sociale

Un autre avantage à l'utilisation de systèmes végétalisés réside dans leur potentiel d'augmentation de l'acceptabilité sociale des PGO et, puisqu'il s'agit d'une mesure d'adaptation aux changements climatiques, dans la réduction potentielle de la vulnérabilité des communautés.

Le rôle de la végétation et l'importance de l'appréciation esthétique dans l'acceptabilité sociale de diverses infrastructures et de divers modes de gestion de la végétation sont largement documentés. Il ressort de certaines études que l'aspect esthétique des infrastructures, leur intégration paysagère et leur capacité d'amélioration du cadre de vie doivent être pris en compte et mis à profit pour en augmenter l'acceptabilité sociale (Dagenais et coll., 2009; Pedersen et Larsman , 2008; Balay et Leroux, 2006; Champlovier et coll., 2005; Boothby et coll., 2001) (fig.7).



Figure 7 : Les bassins de rétentions sont les seules PGO à avoir fait l'objet d'études spécifiques de leur perception ou acceptation par les résidents. (Kronsberg, Hanovre)  
Source : CPEUM

Les bassins de rétentions sont les seules PGO ayant fait l'objet d'étude spécifiques de leur perception ou acceptation par les résidents Plus spécifiquement, lors d'une étude portant sur l'acceptabilité sociale de systèmes de gestion des eaux pluviales au Lancashire, sur la Côte Ouest et dans le Gloucestershire au Royaume-Uni (Apostalki et coll., 2008), l'aspect esthétique des étangs de rétention, leur attractivité pour la faune et la sauvagine et la création de nouveaux habitats constituaient les avantages les plus importants de ces étangs aux yeux du public. La valeur d'agrément et l'amélioration du drainage étaient aussi mentionnées. La sécurité des enfants constituait la préoccupation la plus fréquemment exprimée suivie par l'entretien des étangs et l'enlèvement des détrit. Une étude ultérieure par Bastien et Scott (2011) confirme ces résultats. Cependant la sécurité des enfants ne représentait pas une préoccupation dans le cas d'étangs à haute valeur esthétique et aux rives abondamment végétalisées dans l'étude d'Apostolaki et coll. (2008).

En contrepartie, la faible appréciation esthétique de certains modes dits écologiques de gestion de la végétation et la présence potentielle de débris pourrait nuire à l'acceptabilité sociale de ces systèmes. Il importe donc de se préoccuper du design végétal et du mode d'entretien des PGO (Parent, 2011; Dagenais et coll., 2010; Hill et Daniel, 2008; Benjamin et coll., 2007; Özgüner et Kendle, 2006; Breuster, 2004; Ribe, 2002; Hands et Brown, 2002; Gobster, 1996) (fig.8).



Figure 8 : La présence de débris dans les PGOSV (Kronsberg, Allemagne) peut nuire à leur acceptabilité sociale  
Source : D. Dagenais

Rappelons que l'acceptabilité sociale constitue un premier gage de la participation citoyenne indispensable à l'adaptation aux changements climatiques comme à la reconstruction suite à des catastrophes environnementales (Maret et Cadoul, 2008 a,b).

L'ensemble des études citées ici indique donc que l'utilisation de PGOSV est bénéfique non seulement du point de vue hydrologique, mais aussi pour traiter les eaux pluviales, réduire les îlots de chaleur, augmenter la biodiversité et enfin accroître l'acceptabilité sociale des systèmes et réduire la vulnérabilité des communautés. Cependant, beaucoup de recherche reste à faire afin de déterminer quelles sont les espèces ou cultivars de même que les compositions végétales les plus performantes en ces matières.

## **2.5. Description et fonctionnement des PGOSV**

### **2.5.1. Toits verts**

Les toits verts sont des toits sur lesquels de la végétation croît, enracinée dans un milieu de culture ou substrat. On distingue les toits verts extensifs des toits verts intensifs. Les premiers

comportent une mince couche de substrat (20 cm et moins), une masse surfacique inférieure à 300 kg/m<sup>2</sup> et ne sont entretenus que périodiquement. Les toits verts intensifs comportent une profondeur de substrat plus importante (20 cm et plus), une masse surfacique supérieure à 300 kg/m<sup>2</sup> (61,44 lb/pi<sup>2</sup>) et sont entretenus régulièrement. (Liu et Baskaran, 2005b; Conseil national de recherche du Canada , 2003; Grant et coll., 2003).

Les toits verts actuels (fig. 9,10) comportent généralement de bas en haut, de l'intérieur de l'édifice vers l'extérieur:

- .Élément structural porteur,
- .Pare-vapeur,
- .Isolation thermique,
- .Membrane étanche,
- .Couche de drainage,
- .Couche filtrante (géotextile),
- .Couche de protection contre les racines,
- .Substrat léger généralement sans terre plus ou moins profond (5 à 2000 mm) selon le type de toit, de végétaux et selon le climat ( Lawlor et coll., 2006; Green Roofs for Healthy Cities, 2005; Grant et coll., 2003 ).

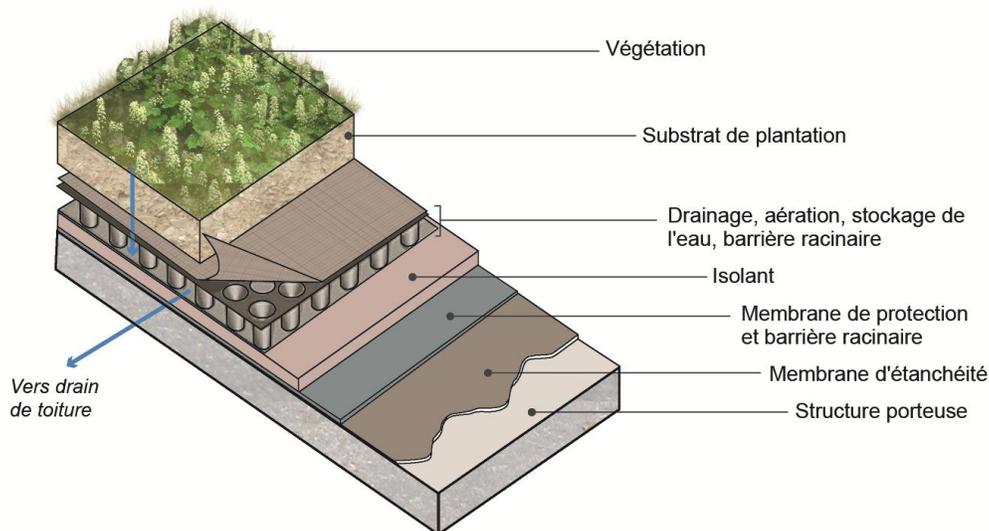


Figure 9 : Les composantes d'un toit vert extensif.

Source : L. Besson, d'après Great Lake Water Institute (TRCA/CVCA, 2010)



Figure 10 : Toit vert du Pavillon De Konninck, Université Laval, Ville de Québec, QC.  
Source : CPEUM

En se fondant sur plusieurs études, TRCA/CVCA (2010) estime que les toits verts réduisent de 45% à 55% les volumes annuels de précipitations (5 à 25% en hiver pour un toit vert situé à l'université d'York selon des données estimées de TRCA, 2006). De nombreux facteurs jouent sur le pourcentage de rétention soit le climat, les saisons, la composition et la profondeur du substrat, les végétaux etc. (Uhl et Schiedt, 2008; Dunnnett et Kingsbury, 2008; Getter et coll. 2007; Mentens et coll., 2006). Implantés à grande échelle, ces PGOSV pourraient donc jouer un rôle non négligeable dans la réduction des volumes et des débits de pointe d'eaux pluviales comme en témoignent les résultats de simulation déjà cités (Carter et Jackson, 2007) ou présentés dans la section 5.2.

Alors qu'ils peuvent jouer un rôle important dans la réduction des volumes et des débits de pointe des eaux pluviales, les toits verts ne sont pas des mesures de traitement des eaux pluviales selon certains auteurs (Berndtsson et coll. (2006). Tout comme les autres PGO végétalisées, il peut d'ailleurs arriver que la teneur en phosphore de l'eau et d'autres polluants augmente suite à son transit par cette PGOSV. Le choix du substrat et la régie de fertilisation doivent être ajustés de façon à éviter ces problèmes (Teemusk et Mander, 2006; Berndtsson et coll., 2006).

### **2.5.2. Bandes filtrantes**

Les bandes filtrantes (fig. 11) sont des bandes de végétation herbacée seulement ou comprenant aussi arbustes et arbres. Elles servent à ralentir et filtrer les eaux de ruissellement. Elles sont généralement utilisées comme prétraitement avant d'autres PGO. Leur largeur doit excéder 5 mètres quoique dans certains cas 3 mètres puissent s'avérer suffisant. Selon TRCA/CVCA (2010), les bandes filtrantes réduiraient de 20 à 80% la teneur

en MES et métaux et entre 20 et 60%, l'azote et le phosphore des eaux de ruissellement. L'efficacité de traitement diminue avec l'augmentation du débit (Deletic et Fletcher, 2006).

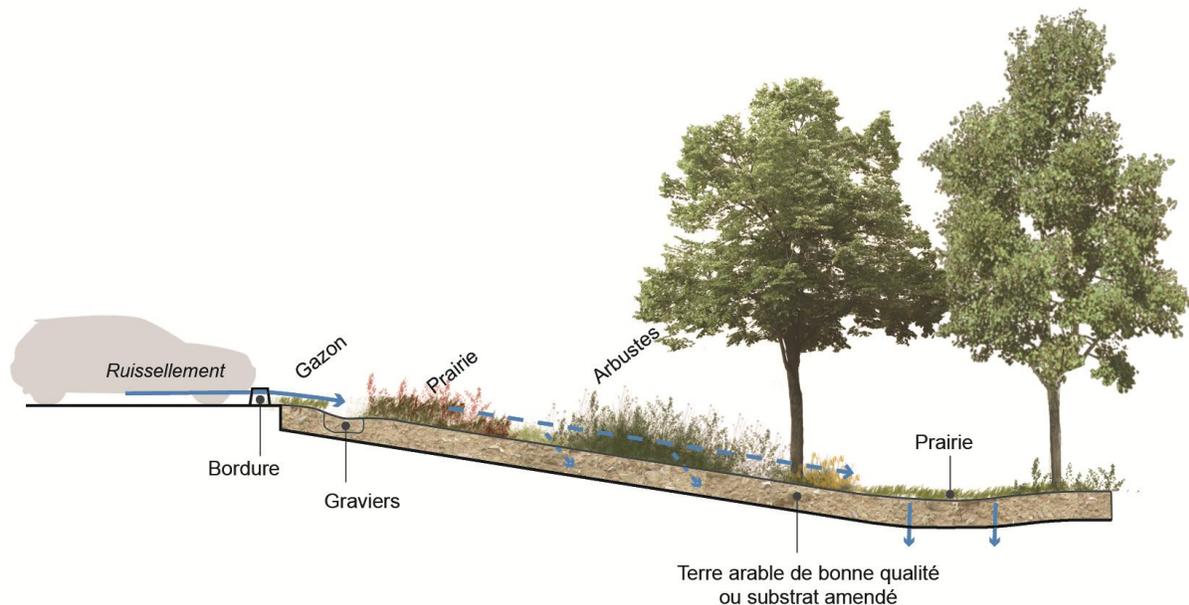


Figure 11 : Bande filtrante  
Source : L. Besson, d'après TRCA/CVCA (2010) |.

### 2.5.3. Zones de biorétention

Première PGO à avoir vu le jour, les zones de biorétention (fig. 12) sont analogues aux dépressions végétalisées retrouvées en milieu naturel. Elles sont conçues pour recueillir un écoulement en nappe. Outre la présence d'une dépression destinée à retenir l'eau, la végétation et le sol de la zone de biorétention interceptent, filtrent, traitent et permettent l'infiltration et l'évapotranspiration des eaux pluviales (MDDEP, 2011 ; TRCA/CVCA, 2010). Les eaux de ruissellement s'y accumulent pour une courte période avant leur infiltration dans le sol. De fait si les eaux sont de bonne qualité (ex : eaux de toit) et si le sol en place est suffisamment perméable (taux d'infiltration 15 mm/h et plus) et profond, il peut suffire de creuser une dépression de dimension suffisante et de la végétaliser pour constituer une zone de biorétention) (TRCA/CVCA, 2010; Minnesota, 2005). Comme ces conditions sont rarement réunies, il existe divers designs de zones de biorétention variant selon la qualité des eaux de ruissellement, leur teneur en nutriments, la perméabilité du sol en place et la distance de la nappe phréatique ou d'infrastructures souterraines (ex : fig. 1; 13; 21; 22).

Généralement les zones de biorétention comportent du haut vers le bas,

1. Une dépression conçue pour retenir les eaux de ruissellement d'une surface de drainage équivalant à 5 ou 10 fois sa surface pour une pluie de conception représentant 90% des pluies annuelles (ex : 22 mm pour le Sud du Québec; 26 mm pour la ville de Québec)

(MDDEP, 2011). La profondeur de cette dépression varie généralement de 150 à 200 mm (TRCA/CVCA, 2010) ou 225 mm (MDDEP, 2011). Cependant certains concepteurs en augmentent la profondeur à 450 mm et utilisent le pavage comme zone de rétention supplémentaire (Dugué, 2010). Notons que des chercheurs sont maintenant d'avis que les PGOSV devraient être conçues de façon à retenir 100% du ruissellement (Viavettene et coll., 2010).

2. Cinq à 10 cm de paillis de frais à la surface du sol (Hunt et White, 2001).

3. Préférentiellement de 1 à 1,25 m (parfois 0,50 m peuvent suffire) de sol drainant apte à la croissance des végétaux (TRCA/CVCA, 2010), généralement un sable loameux ou un loam sableux (Minnesota, 2005), dont la teneur en phosphore ne devrait pas excéder 30 ppm (TRCA/CVCA, 2010).

4. Dans le cas de sols moins perméables, une section de gravier d'une profondeur de 300 mm minimum (pierres de 50 mm de diamètre) est prévue au fond de la zone de biorétention. On insère dans cette section un drain à distance du fond de la zone. Un trop plein peut être raccordé à l'égout pluvial ou unitaire (TRCA/CVCA, 2010).

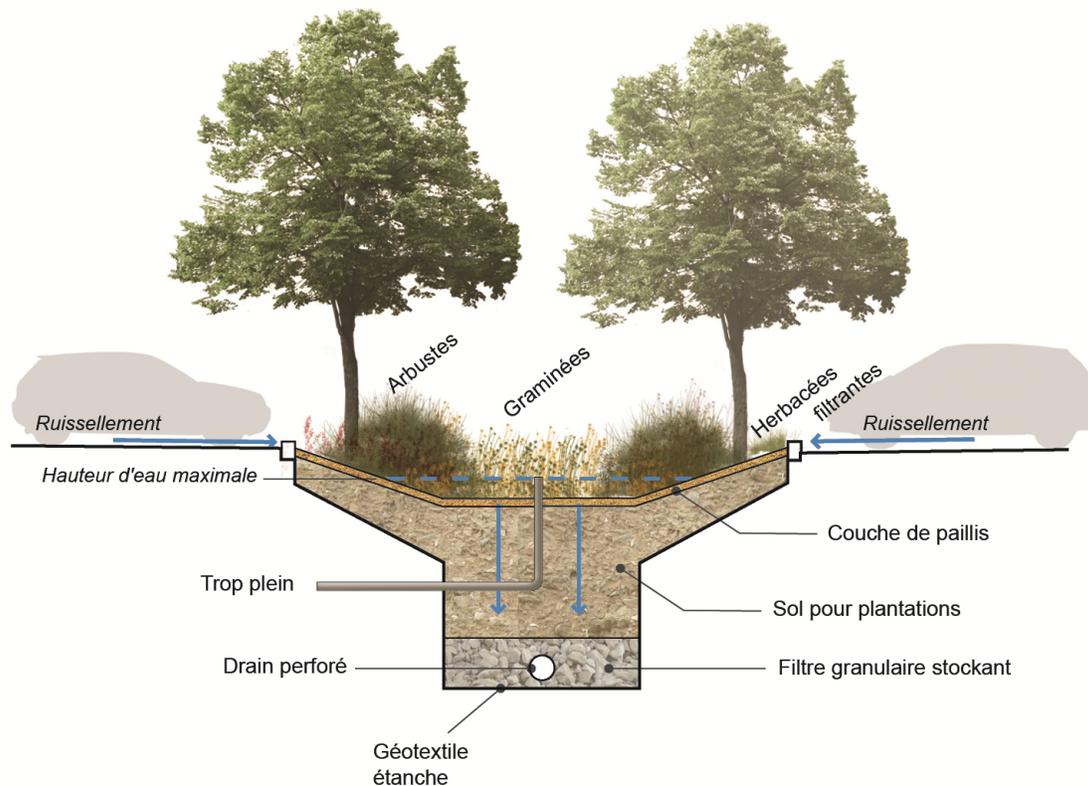


Figure 12 : Zone de biorétention  
Source : L. Besson, d'après TRCA/CVCA (2010).



Figure 13 : Nœud de biorétention en bordure de rue, Portland, OR.  
Source : D.Dagenais

Des spécifications de design plus précises sont détaillées dans le *Guide de gestion des eaux pluviales* du MDDEP (2011), dans le *LID Stormwater Management, Planning and Design Guide* de Toronto (TRCA/CVCA, 2010) et dans d'autres guides ou manuels (ex : Philadelphia Water Department, 2011). Des arbres, arbustes et herbacées en plantations denses y sont intégrés (TRCA/CVCA, 2010).

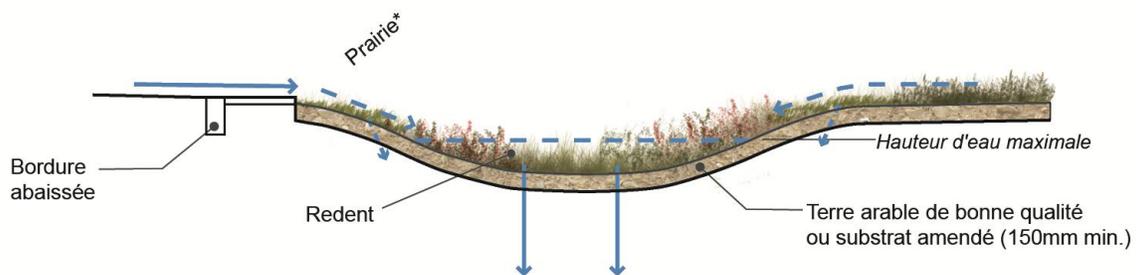
L'implantation de systèmes de prétraitement pour l'enlèvement des MES et des huiles et graisses est recommandée : bassin de sédimentation, bande filtrante, déhuileur-dessableur ou autres. Cependant, certains auteurs sont d'avis que le paillis représente lui-même une forme de prétraitement (Hunt et Davis, 2009).

Selon une recension des écrits effectuée par la TRCA/CVCA (2010), la réduction annuelle des volumes d'eaux de ruissellement serait de 85 et 45% respectivement pour les zones avec infiltration complète ou avec filtration seulement c'est-à-dire imperméable et avec drain perforé relié au système d'égout. Les zones semblent efficaces pour l'enlèvement des MES, hydrocarbures aromatiques polycycliques et des métaux lourds et moins efficaces pour l'enlèvement des nutriments (azote, phosphore) (TRCA/CVCA, 2010). Dans une revue des écrits portant sur les systèmes d'infiltration en climat froid, TRCA (2009) conclut à leur utilité tant dans la réduction des volumes et des débits de pointe que dans l'amélioration de la qualité des eaux même sous nos latitudes. Des recherches ultérieures ont confirmé ces résultats (Blecken et coll., 2011, 2010).

Selon certains auteurs, une certaine prudence est cependant de mise dans l'infiltration d'eaux de ruissellement en provenance des stationnements pour éviter la contamination de la nappe phréatique par des sels de déverglaçage ou par certains métaux lourds (Cd, Pb, Zn) (TRCA/CVCA, 2010; 2009; van Seters, 2008; Muthanna et coll., 2007).

#### 2.5.4. Noues

Elles ressemblent à des fossés élargis (largeur: entre 0,7 m et 3 m; pente moins de 3 :1) et comme ces derniers servent au transport des eaux de ruissellement (fig. 14, 15). Contrairement aux fossés cependant, elles sont conçues de façon à ralentir le débit des eaux de ruissellement afin de favoriser la filtration et la sédimentation des MES et l'infiltration des eaux de ruissellement. Elles peuvent comporter ou non des retenues permanentes et ne sont plantées que d'herbacées (MDDEP 2011; TRCA/CVCA, 2010). Les noues avec retenue permanente sont analogues à des marais filtrants en série. Ainsi elles n'ont pas été considérées ici car elles ne réduisent pas les volumes d'eau de ruissellement de façon significative.



\*Bonne tolérance à la sécheresse et au sel nécessaire

Figure 14 : Noue

Source : L. Besson, d'après TRCA/CVCA (2010).



Figure 15 : Noue, Kronsberg, Allemagne.

Source : D. Dagenais

Les performances hydrologiques des noues varient considérablement selon leur design, de 20% jusqu'à 99% de réduction des volumes d'eaux de ruissellement (TRCA/CVCA, 2010).

Les recherches recensés ici indiquent que les différents systèmes existants peuvent être performants -quoique dans une moindre mesure l'hiver- mais qu'il importe de choisir les systèmes adaptés au contexte d'implantation.

## **2.6. Outils d'aide à la décision**

Au fil du projet, il est apparu que la notion de cadre d'implantation restait trop floue et que l'on aurait avantage à lui substituer le concept plus déterminé d'aide à la décision.

Plusieurs outils d'aide à la décision pour le choix et l'implantation des PGO existent. Viavattene et coll., (2010) expliquent cette prolifération d'outils par le nombre des PGO et leurs multiples possibilités d'implantation. La complexité des prises de décision dans ce domaine rend de tels outils indispensables au planificateur selon eux.

Parmi les plus simples d'utilisation, citons les organigrammes et grilles de sélection des PGO inclus dans les manuels de gestion des eaux pluviales lesquels comportent parfois aussi des matrices multicritères (MDDEP, 2011 ; Philadelphia Water Department, 2011 ; TRCA/CVCA, 2010 ; Minnesota, 2005). Un organigramme de décision consiste en une représentation graphique dans laquelle les étapes sont inscrites à l'intérieur de figures géométriques jointes par des lignes. Des rétroactions y sont généralement incluses (Carratti et Dalqmann, 2004). Chaque étape repose sur l'analyse de données et donne lieu à une prise de décision préalable à l'étape suivante. Dans certains cas, les manuels comprennent à la fois des organigrammes mais aussi des matrices permettant d'effectuer des choix à chacune des étapes comme par exemple une matrice croisant les caractéristiques du site et celle des PGO (Minnesota, 2005). Cet outil permet de choisir des PGO à implanter sur un site en fonction des caractéristiques de ce dernier. Évidemment ces outils exigent la disponibilité de données relatives au site, aux performances des PGO, etc.

À titre d'exemple, la grille d'aide à la sélection de PGO du Guide de gestion des eaux pluviales (MDDEP, 2011) procède en six étapes :

- « 1. Évaluation du site et caractérisation des ressources ;
2. Identification des critères pour le milieu récepteur ;
3. Sélection initiale ;
4. Identification des contraintes de terrain ;
5. Prise en compte des performances attendues ;
6. Sélection finale de la filière de mécanismes de contrôle. » MDDEP, 2011 (14-3).

Cette grille s'adresse davantage à des concepteurs de systèmes qu'à des planificateurs notamment parce qu'elle n'est pas arrimée à des outils cartographiques et ne conduit pas à une implantation spatialisée.

Le manuel publié par la TRCA/CVCA (2010) décline les principes du LID qui touchent la planification des lotissements. Le processus d'implantation mis de l'avant dans le guide est

linéaire et présenté sous forme graphique (fig. 16). Des exemples d'implantation à diverses échelles sont aussi proposés. Chaque étape est bien détaillée mais le processus synthétisé dans l'organigramme semble trop linéaire pour mener une réelle implantation.

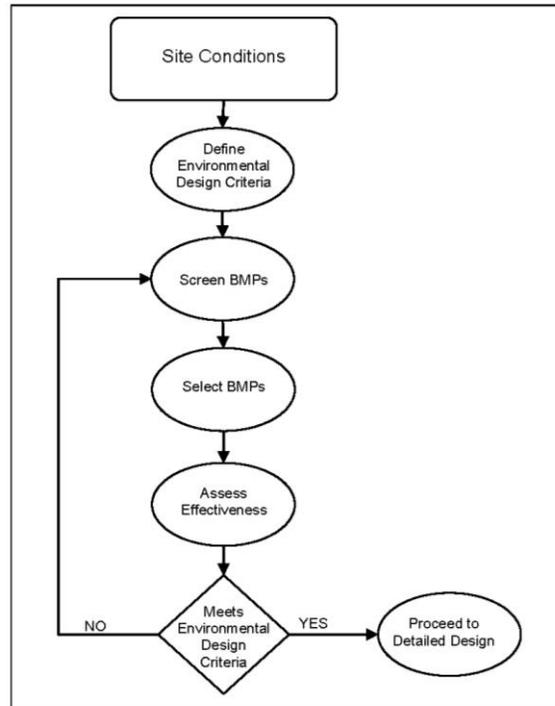


Figure 16: Processus de sélection d'une suite de PGO  
Source : TRCA/CVCA (2010)

L'Institut bruxellois de la gestion de l'environnement (2010) a développé un outil relativement simple de gestion des eaux pluviales à l'échelle de la parcelle destiné aux professionnels. Diverses PGO de rétention végétalisées ou non (entreposage sur toit, bassin, noues etc.) sont proposées. Outre les aspects hydrologiques, d'autres éléments de comparaison entre les PGO sont proposés. Ces derniers touchent le coût et l'entretien mais aussi des aspects peu évoqués dans d'autres outils tels que les impacts environnementaux large et immédiat de même que des facteurs autres tels que l'intégration paysagère, la multifonctionnalité, la flexibilité de mise en place progressive, la perception des habitants, l'emprise foncière, les désagréments, les dangers de noyage ou de chute, la topographie et le risque de stabilité. On ignore cependant comment les valeurs attachées à certains de ces facteurs ont été déterminées.

Dans le cadre de l'implantation à grande échelle des PGO, on a parfois utilisé une approche monocritère d'aide à la décision soit une analyse bénéfices-coûts pour évaluer à posteriori la rentabilité économique de l'implantation de toits verts ou d'une politique intégrant l'implantation des PGO (Entrix, 2010; Saltzman et Marriott, 2008). De tels aides à la décision ne sont pas utiles dans le cas où on doit aussi déterminer la localisation des systèmes.

Plusieurs études portent sur le développement de logiciels d'aide à la décision multicritères pour l'implantation des PGO à l'échelle d'un quartier, d'un bassin versant etc. Les aides à la décision multicritères sont généralement désignées comme MCDA ou MCDM pour Multicriteria Decision Analysis ou Multicriteria Decision Making respectivement) (Maystre 1997). Ces outils sont couplés ou non avec des systèmes d'information géographique (SIG) tel que le LIDAR (Light Detection And Ranging) (Deroubaix et Petrucci, sans date ; Jensen et coll., 2010 ; Viavattene et coll., 2010 ; Martin et coll., 2007). Les processus d'aide à la décision multicritères (MCDA) ont émergé dans des contextes à critères et décideurs et acteurs multiples. Cette approche vise l'analyse de problèmes complexes de « prise de décision » caractérisés par des objectifs et/ou des attributs multiples mettant en jeu une ou plusieurs parties prenantes (Tsoukiàs 2008). Elle exige des compromis par rapport aux critères utilisés et aux acteurs impliqués. Une solution ne saurait être la meilleure pour chacun des critères utilisés ni pour tous les acteurs impliqués (Ben Mena, 2000 ; Zoller et Béguin, 1992). Les méthodes multicritères se différencient par leur méthode mathématique d'agrégation.

Par exemple, les méthodes AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (Ishizaka et Labib 2011; Figueira 2005;), MAUT (Multiple Attribute Utility Theory) utilisent une méthode d'agrégation complète. La famille des méthodes ELECTRE (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*) et la famille des méthodes PROMETHEE (Figueira 2005) ont plutôt recours à une méthode d'agrégation par surclassement.

Young et coll. (2010) ont utilisé l'algorithme Analytic Hierarchy Process pour développer un sélecteur multicritère de PGO. Ils ont évalué les choix effectués avec cet algorithme avec une simulation effectuée avec le modèle SWMM (Storm Water Management Model) en utilisant les données de la ville de Blacksburg, dans l'état de Virginie aux États-Unis. L'étude a été effectuée à l'échelle du bassin versant. D'autres outils, tels que l'algorithme de conservation des espèces et le Soil Water Assessment Tool (SWAT) et d'autres outils SIG ont été utilisés afin de permettre de déterminer à la fois la meilleure combinaison de PGO à utiliser (bassins de rétention, bassins d'infiltration, noues engazonnées...) et leur disposition spatiale. Les critères de sélection pour les PGO compaient : l'aire de drainage à prendre en compte, le pourcentage d'imperméabilité de cette aire, le groupe hydrologique de sol, la topographie, les facteurs géologiques, la maintenance annuelle, la capacité d'épuration de l'eau. Les parties prenantes utilisant l'outil (« BMP selector ») ont la possibilité de donner l'importance relative à chaque critère. Ce prototype de logiciel a permis d'obtenir des résultats satisfaisants et de mener à un projet pilote. Cependant, les critères semblent parfois incohérents (le critère sur l'entretien annuel contient les sous critères sur la santé publique, les bénéfiques esthétiques, le débit de pointe et la capacité à recharger les eaux souterraines). Une étude similaire utilisant les mêmes outils (algorithme génétique et SWAT) a conduit à des résultats comparables dans le sous bassins de Silver Creek, dans l'Illinois (Kaini et coll. 2012). Les indicateurs s'appliquant aux critères sociaux tels que bénéfiques ou désavantages esthétiques ne sont pas explicités et certains éléments d'importance dans la localisation d'une PGO ne sont pas intégrés au modèle. Ces systèmes demeurent applicables à l'implantation des PGO dans un quartier donné.

Autre exemple de ce type d'outil, du côté européen, le système adaptatif d'aide à la décision Daywater comporte un comparateur multicritère et des bases de données pour le choix de PGO (Deroubaix et Petrucci, sans date). L'aide à la décision multicritère utilisée dans outil est supporté par les méthodes ELECTRE III, très employée dans le domaine de l'environnement. Des critères économiques et sociaux y sont intégrés (Martin et coll. 2007). Plus précisément,

cette méthode prend en compte l'amélioration de la qualité de vie et de l'environnement, l'agrément du paysage urbain, les équipements de loisir et la sensibilité des résidents aux problèmes de santé. Une analyse des résultats obtenus avec cet outil comparé aux résultats d'un sondage national effectué en France sur l'utilisation des PGO a montré l'intérêt de l'utilisation de cet outil pour le choix d'une suite de PGO à moindre coûts que la PGO normalement utilisée, le bassin de rétention. Un autre outil de multicritère de sélection de PGO fondé sur l'utilisation de SIG a aussi été développé dans le cadre du programme européen SWITCH (Viavattene et coll., 2010).

Le logiciel SUSTAIN a été développé par l'Environmental Protection Agency des États-Unis comme outil d'aide à la décision pour l'implantation et la sélection de PGO. Le choix et la localisation de PGO sont fondés sur des critères techniques et les caractéristiques du site. Les aspects sociaux ne sont pas pris en considération (USEPA, dernière mise à jour 2 février 2012).

Les aides à la décision multicritère fondés sur les systèmes d'information géographiques (pour *Geographic Information System-MCDA*), ou SDSS (pour *Spatial Decision Support System*), permettent d'intégrer les données géographiques aux MCDA afin d'avoir des informations plus pertinentes, plus proches du territoire (Malczewski et coll. 2006). Cependant, selon Viavattene et coll. (2011) l'utilisation de ces derniers requiert des connaissances de base en hydraulique urbaine de même qu'en modélisation des PGO qui ne sont pas à la portée de tous. Jensen et coll. (2010) ont utilisé avec succès la technologie LIDAR afin de déterminer les sites d'implantation de toits verts et de zones de biorétention dans un quartier de la ville de Victoria en Colombie-Britannique. L'outil s'est révélé adéquat. Les auteurs reconnaissent que d'autres données urbanistiques et socioéconomiques seront nécessaires aux planificateurs pour déterminer l'emplacement de ces PGO.

Enfin, certains outils ont été développés en support à la décision de groupe ou à la consultation publique. Le développement d'un tel système est rapporté dans Taylor et coll. (2006) « Triple-bottom-line assessment of stormwater quality projects : advances in practicality, flexibility and rigour ». Le triple Bottom Line fait ici référence aux aspects financiers, sociaux et écologiques devant être pris en compte dans un projet. Ce système comporte 12 critères, et trois niveaux potentiels d'évaluation (élevé, intermédiaire ou faible) dépendant de l'importance du projet. Ces critères touchent autant le coût d'opportunité d'implantation de PGOSV sur un terrain donné que le coût total des systèmes pendant leur vie utile, l'amélioration des valeurs environnementales locales et régionales, de la santé ou du cadre de vie et l'équité sociale. Une utilisation pilote de ce système à un niveau intermédiaire d'évaluation a duré trois mois et coûté 30 000\$ AUS.

Aucun des outils présentés ne semblent correspondre aux besoins et aux ressources des municipalités du Sud du Québec pour l'instant. Un outil d'aide à l'implantation à grande échelle des PGOSV, performant, simple d'utilisation, peu coûteux et adapté aux besoins des municipalités reste à développer.

## **2.7. Simulations**

La simulation à l'aide de modèle soit sous forme de logiciel ou de tableur sert d'appui à la décision en permettant de mesurer l'impact potentiel d'une décision d'implantation de PGO ou d'une suite de PGO sur la réduction des volumes ou la qualité de l'eau. Plusieurs logiciels de simulation des réseaux de drainage urbain existent dont plusieurs intègrent des fonctions permettant de simuler les PGO. Ces logiciels sont déjà en usage dans les municipalités et les firmes d'ingénierie. Le LID SWM Planning and Design Guide de la Région de Toronto et le Guide de gestion des eaux pluviales donnent un aperçu de ces modèles (TRCA/CVCA, 2010 ; MDDEP, 2011).

Des simulations de l'implantation de PGO à l'échelle de bassin versants urbains ou de quartiers ont été effectuées à l'aide de logiciels dans le cadre de quelques études. Avec le STORM, des simulations de l'implantation de toits verts dans un secteur en développement de 4,5 ha dans la ville de Birmingham au Royaume-Uni résultaient en des réductions totales de volumes de 23 et 26% à l'heure dépendant des précipitations. La pluie utilisée pour la simulation était une pluie 1:80 de 35 mm sur 10 heures avec une intensité maximale de 0.6 mm/min. Les fluctuations du débit étaient aussi atténuées. L'implantation des toits verts était déterminée par un outil SIG utilisant le système LIDAR (Viavattene et coll., 2010).

Une simulation d'implantation de toits verts, de pavé perméables et de marais filtrants a aussi été effectuée dans un secteur de la ville de New-York à l'aide du logiciel LIDRA, un logiciel simplifié permettant d'évaluer l'impact de l'implantation d'éléments du LID sur un territoire. Une implantation maximale de toits verts comportant entre 10 et 13 cm de substrat pour un coefficient de ruissellement de 0,3 était simulée. 90% des maisons en rangée du secteur étaient présumées être munies d'un toit vert. Les données réelles des pluies de 1988 étaient utilisées. L'implantation simulée de toits verts résultait en une réduction de 26% du nombre de débordements d'égouts unitaires dans ce secteur, les pavés perméables, de 11% et les canaux de drainage en bordure de rue et marais filtrants, de 10% (Montalto et coll, 2007).

Dietz (2007) rappelle les résultats de deux études ayant comparé un développement traditionnel et un développement fait selon les principes du LID et utilisant des PGO telles que des noues engazonnées, des pavés poreux, des zones de biorétention et un développement en grappe (cluster development). Le développement traditionnel avait occasionné une croissance importante du ruissellement et de l'exportation d'azote et de phosphore alors que le développement fait selon les principes du LID n'avait pas causé de tels changements dans le régime hydrologique et la qualité des eaux et avait maintenu un débit de pointe peu élevé.

Une autre étude similaire effectuée par ce chercheur a donné des résultats comparables. Dans le cas du développement traditionnel, les volumes d'eaux de ruissellement et les charges polluantes ont été multipliés par 100 (*2 orders of magnitude*) par rapport à la situation pré-développement, atteignant pour le phosphore et l'azote total, des valeurs comparables à celles d'autres lotissements urbains. Dans le cas du deuxième lotissement, volumes et charges polluantes sont demeurés identiques à leur niveau d'avant développement, confirmant l'intérêt de ce modèle de développement (Dietz et Clausen, 2008).

Ces études confirment l'intérêt de procéder à l'implantation à grande échelle des PGSOV.

## **2.8. Obstacles et facilitateurs à l'implantation des PGO**

L'implantation de la gestion intégrée des eaux pluviales incluant l'implantation à grande échelle des PGSOV rencontre des obstacles qui ne sont pas seulement d'ordre technique comme en témoignent plusieurs études sur le sujet.

À partir d'études de cas de cinq projets américains et australiens, Roy et coll. (2008, 348, t.d.a.) ont identifié les obstacles et solutions suivants à l'implantation de la gestion intégrée des eaux pluviales (tableau 1).

Tableau 1 : Obstacles et solutions pour la gestion intégrée des eaux pluviales.

Obstacles	Solutions
Incertitude quant aux performances et aux coûts	Mener de la recherche sur les coûts et les performances à l'échelle du bassin versant.
Absence de normes d'ingénierie et de ligne directrices	Rédiger des normes et promouvoir la publication de manuels techniques sur le sujet
Responsabilité fragmentée	Intégrer la gestion à toutes les étapes du cycle de l'eau et à tous les paliers de gouvernement
Manque de capacité institutionnelle	Développer des ateliers ciblés pour former les professionnels
Absence de mandat législatif	Utiliser le support des citoyens pour faire adopter les règlements et des lois.
Absence de financement et d'incitatif du marché	Aplanir les obstacles du marché et établir des mécanismes de financement
Résistance au changement	Éduquer et impliquer la communauté par des projets pilotes.

Brown (2011, 2008, 2005) et Brown et Farrelly (2008) ont établi la liste suivante des empêchements à l'implantation d'une gestion intégrée des eaux pluviales :

«

1. Le manque connaissance et de compétences sur le sujet
2. La résistance des organisations
3. L'absence de volonté politique
4. Le faible nombre d'incitatifs réglementaires
5. Des arrangements institutionnels inadéquats
6. Le manque d'engagement de la part de la communauté
7. L'échec des politiques à l'implantation » (Brown, 2011, 37)

Pour ces chercheurs, le problème réside aussi dans la mainmise des technocrates dans les prises de décision sur les eaux pluviales et dans l'inertie des administrations locales. Ils préconisaient une plus grande intégration des divers acteurs, professionnels comme citoyens, intéressés à la gestion intégrée des eaux pluviales. L'importance de la coopération entre les différents services et professionnels a été signalée par d'autres chercheurs (Ellis et coll., 2010). Selon ces chercheurs, les retards dans l'implantation de la gestion intégrée des eaux pluviales relèvent davantage de problèmes de gouvernance, d'organisation et de formation que des problèmes de connaissances techniques.

En contrepartie, certaines villes présentent des pratiques exemplaires en termes d'implantation de ces systèmes et pratiquent un mode de gestion intégrée des eaux pluviales.

Quels sont donc les facilitateurs en action dans ces villes? La recension des écrits préalable au présent projet a montré que la ville de Portland applique une gestion intégrée des eaux pluviales par bassins versants mais coordonnée à l'échelle municipale. L'implantation de projets pilotes avec suivi, accessibles au public, performants et esthétiques, contribue aux yeux des décideurs et professionnels municipaux à augmenter l'acceptabilité sociale des systèmes de contrôle à la source des eaux pluviales en augmentant la familiarité et la connaissance de ces systèmes chez le public, les praticiens et les décideurs eux-mêmes (Dagenais et coll., 2010; Kurtz, communication personnelle, 29 septembre 2009; Brown et Farrelly, 2008; Gagnon, 2007). Des essais similaires effectués à Cincinnati, Ohio, ont démontré la fécondité d'une telle approche (Shuster et coll., 2008) tout comme des projets effectués au Royaume-Uni (CABE 2008). Cependant, le peu de données disponibles à sujet comme l'intérêt des données issues de l'étude préliminaire faite par l'équipe sur Portland confirment l'importance de procéder à des études de cas débordant des seuls aspects techniques pour aborder l'ensemble des déterminants du succès de l'implantation à grande échelle des PGSOV.

### **2.9. Processus de planification de l'implantation des PGO à l'échelle d'un bassin versant urbain**

Une équipe de recherche danoise de l'Université Technique du Danemark et de l'Université de Copenhague a réalisé plusieurs recherches sur l'implantation de PGOSV à l'échelle d'un bassin versant urbain. Cette équipe dans laquelle œuvraient notamment des étudiants au Ph.D. -architecte paysagiste, designer urbain, hydrogéologue, économiste, chimiste et ingénieures de l'environnement- s'est intéressée au processus d'implantation des PGOSV dans une démarche de design intégrant les professionnels des services publics municipaux (Fryd et coll., 2009).

Dans un premier temps, des études de cas ont été réalisées aux Pays-Bas afin de déterminer quelles étaient les forces et les faiblesses de divers projets intégrés de gestion des eaux pluviales dans ce pays. Des entrevues avec des concepteurs complétaient les analyses de terrain. Il en a résulté une liste de principes de design plutôt généraux cependant. L'absence de grille explicite d'analyse a sans doute nui à la précision des recommandations

- «débuter par le contexte
- penser de façon globale (holistique)
- intégrer l'eau dès les premières phases de la planification et du design
- imaginer et communiquer les idées à toutes les parties prenantes
- allouer l'espace nécessaire pour interconnecter les PGOSV (note : ne pas chercher à les insérer dans un espace trop restreint)
- planifier pour l'opération et l'entretien des PGOSV dès le départ
- mettre l'emphase sur la robustesse (note : quitte à surdimensionner)
- utiliser le potentiel financier de l'eau dans les projets d'aménagement urbain
- respecter le fait qu'il faudra du temps pour acquérir une confiance dans de nouvelles pratiques de planification, d'implantation et d'entretien
- permettre les expériences » (Birch et coll., 2008, 37.t.d.a).

Une étude de cas d'implantation réalisée par la même équipe intégrait plusieurs ateliers d'implantation dans un processus itératif de planification paysagère d'intégration de PGOSV

dans le bassin versant de la rivière Harrestrup dans la ville de Copenhague. Les huit étudiants de doctorat mentionnés précédemment participaient à cette étude ayant utilisé une démarche puisant à la recherche projet et la recherche action. Plusieurs rencontres ont été réalisées entre l'équipe de recherche et les membres des services et conseils municipaux. Les contraintes et caractéristiques du territoire étaient cartographiées donc aisément compréhensibles par tous. La facilité d'implantation était aussi prise en compte (fig. 17) de même que l'apport de l'implantation des PGOSV au territoire et leur intégration à des projets existants.

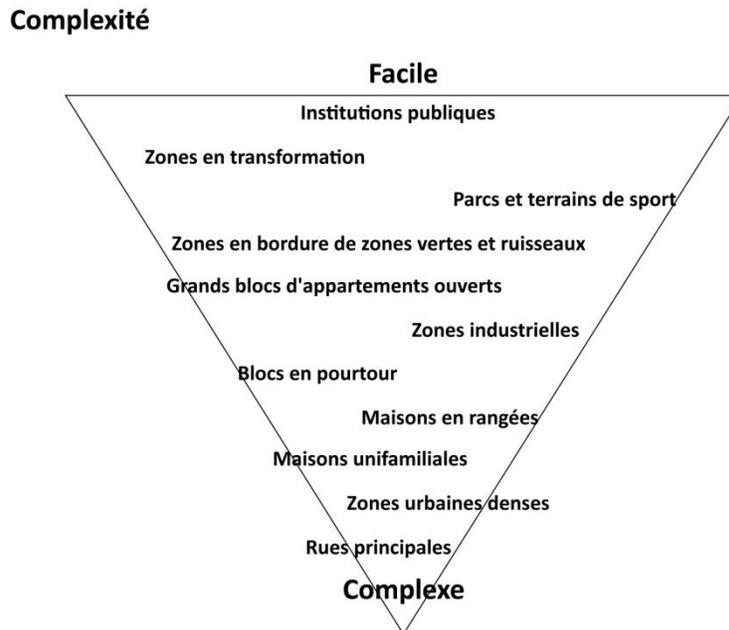


Figure 17 : Gradient de complexité de déconnection des surfaces imperméables (implantation des PGO) en fonction de l'utilisation du sol du plus facile (en haut) au plus difficile (en bas).

Source : Fryd et coll. (2009, 32)

Différents scénarios ont été développés et ont fait l'objet de simulation. Les processus de réflexion et de design étaient séquentiels et itératifs. Bien que les scénarios résultants ne soient applicables que sur le territoire du projet, cette étude de cas a le mérite de replacer l'implantation des PGOSV dans une réelle démarche de projet de paysage intégrant les parties prenantes. À cet égard, les réflexions sur le processus d'implantation et l'importance de la facilité d'implantation sont pertinentes pour d'autres contextes géographiques. Certains défis sont apparus dans ce projet : l'intégration des échelles, la prise en compte du court et long terme, l'intégration des PGOSV dans le tissu paysager existant, l'entretien et la survie des végétaux, l'entretien des PGOSV comme infrastructures, le partage des responsabilités entre les secteurs privés et publics et la robustesse du design pour toutes les conditions (sécheresse/pluie extrême) (Fryd et coll., 2009).

Enfin cette même équipe, a réalisé une autre étude de cas sur la ville d'Odense toujours au Danemark afin de documenter une expérience de design collaboratif d'implantation de PGOSV impliquant des professionnels municipaux et des chercheurs. Trois groupes de participants ont été constitués autour des thèmes de la quantité de l'eau (hydrologie), de sa

qualité et des valeurs socio-culturelles. Ces dernières ont été tirées des documents de planification des municipalités. Des rencontres conjointes des trois groupes ont été prévues à plusieurs reprises. Malgré que les aspects quantitatifs aient primé dans l'amorce du projet, les valeurs socio-culturelles ont permis de prioriser les interventions. Des scénarios d'infiltration à 50% et 100% des précipitations ont été simulés en ayant recours soit à un design traditionnel soit à un design optimisé de tranchées d'infiltration. Selon les secteurs et les normes s'y appliquant, des pluies de récurrence 2, 5 ou 10 ans ont été employées dans les simulations. Le premier scénario pouvait être réalisé en déconnectant 45% des surfaces imperméables dans les zones où la nappe phréatique était suffisamment profonde et en ayant recours à diverses PGOSV pour le reste des autres zones. 100% des précipitations simulées pouvaient être infiltrées à l'aide de tranchées d'infiltration<sup>2</sup>. Les tranchées d'infiltration optimisées réduisaient de plus de 75% la longueur de tranchées nécessaire à l'atteinte des performances souhaitées (Fryd et coll., 2010). L'approche d'aide à la planification mise à l'épreuve dans cette étude semble plus adaptée au processus de planification que les approches mono ou multicritères issues de l'économie ou de la recherche opérationnelle. De plus, elle favorise l'échange d'information entre les acteurs, le travail en silo étant l'un des obstacles à l'avènement d'une ville sensible à l'eau (Water Sensitive City) identifiés par Ellis et coll. (2011) et Brown (2011).

Cette revue de la littérature conduit à un certain nombre de constats :

Les simulations d'implantation de PGO à l'échelle des bassins versants ont porté sur l'implantation de PGO à la source et à la sortie de l'émissaire, végétalisés et non végétalisés ou simplement sur l'implantation de toits verts. Ces simulations confirment le potentiel de réduction des volumes et débits de pointe des PGOSV lorsqu'implantés à grande échelle. Cependant, aucune simulation n'a été effectuée sur l'implantation de PGOSV seulement incluant les zones de biorétention.

L'intérêt d'implanter des systèmes végétalisés plutôt que non végétalisés est appuyé par de nombreux résultats de recherche. Cependant, des recherches additionnelles restent à effectuer afin de déterminer quelles sont les espèces et les compositions végétales plus performantes en regard du système utilisé et des buts recherchés.

Bien que des obstacles à l'implantation des PGO à grande échelle aient été identifiés, il serait utile d'effectuer des études de cas sur les villes où cette implantation a réussi de façon à identifier les éléments facilitant l'implantation. Car ces derniers ne se limitent pas nécessairement à n'être que l'envers des obstacles.

Par ailleurs, plusieurs outils d'aide à la décision existent mais ils ne sont pas nécessairement adaptés à tous les types de professionnels appelés à intervenir dans l'implantation des PGOSV ou au travail collaboratif par essence itératif et séquentiel préconisé en cette matière. Bien que l'amélioration du cadre de vie et la réduction de la vulnérabilité des communautés soient évoquées dans la littérature, la relation entre l'implantation des PGOSV et ces considérations y reste peu développée. Par ailleurs, l'intégration de ces dimensions dans l'implantation des PGOSV reste à réaliser. Le présent projet entend pallier ces lacunes.

---

<sup>2</sup> Traduction littérale mais dans le texte, cette expression semble désigner une noue d'infiltration.

### **3. Cadre conceptuel**

#### **3.1. Acceptabilité sociale**

Le concept d'acceptabilité sociale est polysémique. Nous retenons la définition de Brunson (1996) développée en aménagement forestier mais applicable dans l'implantation de systèmes telles que les PGOSV. L'acceptabilité sociale résulterait d'un processus individuel de jugement comparant une situation donnée et son alternative la plus avantageuse. Selon Brunson (1996), si la situation alternative est jugée préférable, l'individu, seul ou généralement au sein d'un groupe, tentera de favoriser un changement vers la situation jugée préférable. Il s'agit donc d'un jugement personnel mais effectué dans un cadre social (sociopsychologique) (Brunson, 1996). Autrement dit, l'acceptabilité sociale des PGOSV dépendra des avantages que les citoyens trouveront ou penseront trouver à leur implantation par rapport à la situation existante. Ces avantages pourraient porter sur divers aspects notamment l'amélioration du cadre de vie et la diminution de leur vulnérabilité. Les avantages économiques en font aussi partie (Wustenhagen et coll., 2007) cependant ils ne seront pas abordés dans le cadre du présent projet.

#### **3.2. Cadre de vie**

« Le cadre de vie est un concept spatial centré exclusivement sur l'humain. Outre cette caractéristique, il a aussi la particularité de réunir en son sein l'idée de qualité, de spatialité et de matérialité. Il [...] peut se définir comme la qualification (partagée collectivement) d'une matérialité de vie spatialisée. Cette qualification va prendre forme principalement à travers les pratiques de l'architecture, de l'architecture de paysage, de l'urbanisme, du design urbain et de l'art public. À cette définition générale peut s'adjoindre quelques attributs supplémentaires comme l'idée de quotidienneté ou d'appartenance [...]. Le [...] cadre de vie peut alors se définir comme un concept centré sur les espaces de la vie quotidienne des individus. » (Poullaouec-Gonidec et coll., 2001, 24).

#### **3.3. Vulnérabilité**

Le concept de vulnérabilité est largement présent dans la littérature, mais il reste qu'il n'y a pas encore de consensus sur sa définition. La vulnérabilité qui est présentée dans la littérature porte souvent sur la sensibilité d'un milieu et la capacité d'adaptation de ce milieu d'y remédier. Pour certains, le concept de vulnérabilité serait un outil d'analyse permettant de décrire la susceptibilité d'un milieu envers des dommages ou des situations particulières. Pour d'autres, ce concept permet de guider une analyse plus normative dans une perspective de réduction de risque (Adger, 2006). Pour Gallopin (2006), la vulnérabilité est composée de deux dimensions : la sensibilité et la capacité d'adaptation. La sensibilité est le niveau auquel un système (un environnement) est affecté par des turbulences internes et externes (perturbations ou aléas), elle est un attribut inhérent du système et existe indépendamment de la perturbation (Gallopin, 2006). La capacité d'adaptation fait aussi partie du système, elle se caractérise par l'habilité au système de s'ajuster au changement, mais aussi la capacité de

décélérer les opportunités. Comme la sensibilité, la capacité d'adaptation est aussi un attribut indépendant des perturbations ou aléas (Gallopain, 2006) (fig. 18).

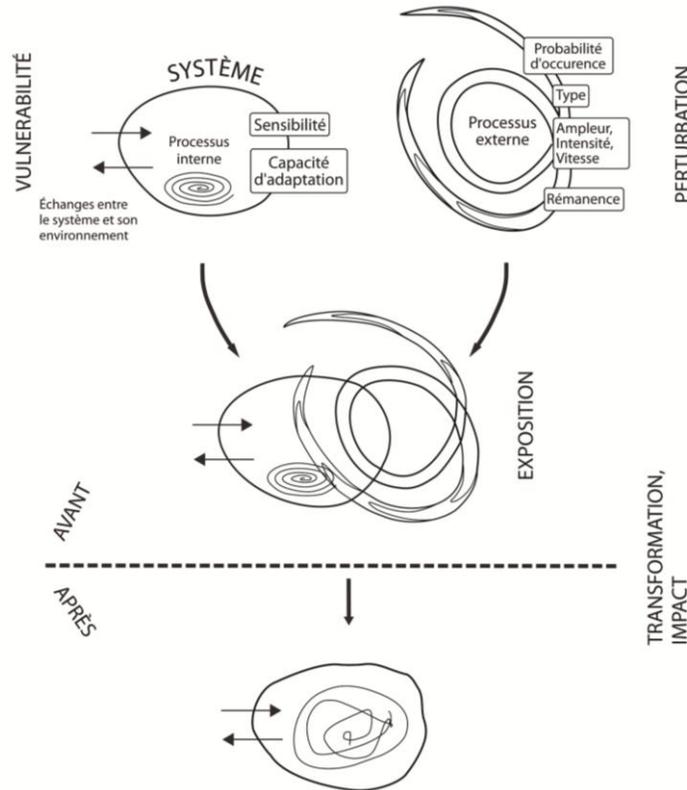


Figure 18: Concept de vulnérabilité et relation entre la perturbation et la vulnérabilité  
Source : Gallopain (2006, 296)

Bien que la vulnérabilité semble présenter plusieurs définitions, la sensibilité et la capacité d'adaptation demeurent des éléments récurrents parmi celles-ci, c'est pourquoi l'analyse de ces deux dimensions est primordiale pour comprendre la vulnérabilité d'un territoire.

Le concept de vulnérabilité retenu aux fins de projet et du projet de Thomas-Maret et coll. sera repris dans le présent projet. Il prend appui à la fois sur les sensibilités sociétales et territoriales et sur la capacité d'adaptation des communautés. La vulnérabilité est la résultante de toutes ces composantes du système. Rappelons enfin que l'exposition aux aléas –ex : les canicules ou en l'occurrence ici les pluies plus intenses résultant des changements climatiques- et la vulnérabilité sont les deux composantes du risque. Les sensibilités et la capacité d'adaptation sont des dimensions de la vulnérabilité (Thomas-Maret et coll., sous presse). On peut formuler l'hypothèse que l'implantation des PGOSV pourrait contribuer à augmenter la capacité d'adaptation et, par le fait même, réduire la vulnérabilité des communautés. Cependant cette hypothèse doit être mise à l'épreuve.

### **3.4. Cadre d'implantation et concept d'aide à la décision**

Tel que mentionné précédemment, au fil du projet, il est apparu que la notion de cadre d'implantation d'abord retenue restait trop floue et que l'on aurait avantage à lui substituer le concept plus déterminé d'aide à la décision. «Aider à la décision c'est donc « apporter l'information qui autorise une appréciation plus sûre du champ des possibles et une anticipation plus correcte des résultats susceptibles de découler des actions projetées, de manière à faire se dérouler le processus autour de la table plutôt que sur le terrain » » (Roym 1975 cité dans Zollet et Béguin, 1992).

## **4. Méthodologie**

Chacun des volets de l'étude a requis l'utilisation d'une méthodologie spécifique ce qui explique que ce chapitre soit divisé en plusieurs sections.

### **4.1. Études de cas**

L'étude de cas est une méthode de recherche empirique permettant d'investiguer les pourquoi et les comment d'un phénomène ou d'un processus multidimensionnel (Yin, 2009), soit dans notre cas, les raisons et processus ayant conduit à une implantation à grande échelle réussie des PGOSV dans certaines villes, arrondissements ou quartiers. Une approche mixte déductive/inductive a été utilisée. Une revue de la littérature a été effectuée. Cependant, l'analyse de cas a été menée de façon à permettre l'émergence de nouvelles connaissances.

Une liste préliminaire des cas exemplaires a été établie à partir d'ouvrages techniques (Dunnett et Clayden, 2007), de documents gouvernementaux (ex : Boucher, 2010), de listes de récipiendaires de prix environnementaux (ex : Clé des eaux, Phénix etc.), de subventions de recherche (ex : Fonds municipal vert de la Fédération canadienne des municipalités), de bonnes pratiques recensées dans les revues professionnelles ou de sites de fondations de recherche sur l'eau (ex : Water Environment Research Foundation) et de firmes d'ingénierie (ex : Vinci consultants, CIMA+) de même que d'articles scientifiques (Brown and Farrelly, 2008; Roy et coll., 2008; Mitchell, 2006; Villareal et coll., 2004; Malec, 2003). Les projets ayant fait l'objet de présentation à la Société québécoise de phytotechnologie ou connus de la Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal ont été ajoutés à la liste.

Suite à cet inventaire, une première liste de 29 projets québécois (excluant les projets de toits verts), 13 projets canadiens non québécois et 9 projets américains a été dressée. Dans cette liste, les implantations de PGOSV à l'échelle d'une ville étaient considérées comme un seul projet. Quarante-sept (47) toits verts des régions de Montréal et Québec visités dans le cadre d'un autre projet de recherche ont été ajoutés à cette liste. Les cas exemplaires à étudier sont tirés de cette liste (annexe B.1). Par la suite cette liste a été élaguée à 23 projets québécois, 9 projets canadiens et 10 projets américains.

Neuf (9) projets dans les environs de Montréal et de Québec (fig. 19, 20) de même que plusieurs sites d'implantation à Portland en Oregon (fig. 21, 22) ont d'abord été visités et 11 concepteurs ou gestionnaires, interviewés (voir Annexe B.3).

Un guide d'entretien a permis de s'assurer que tous les points d'intérêt étaient abordés lors des entrevues menées auprès des concepteurs (certificat éthique CPER-10-050-D).



Figure 19 : La TOHU, Montréal, QC  
Source : CPEUM



Figure 20 : Marais, Lac St Charles, QC  
Source : CPEUM



Figure 21 : Noe de biorétention  
en bordure de rue, Portland, USA.  
Source : D.Dagenais, CPEUM



Figure 22 : A droite : Jardin de pluie  
(biorétention) ; à gauche : noe de rétention  
en bordure de rue. Portland, USA.  
Source : D.Dagenais, CPEUM

Les critères de sélection des cas exemplaires (par ordre d'importance) étaient les suivants:

1. réalisation d'une implantation à grande échelle (quartier, ville, région) de PGOSV
2. existence d'une documentation abondante et accessible
3. recours à une stratégie intégrée de planification visant de multiples bénéfiques (CABE, 2008)
4. recherche d'une implication et d'une information citoyennes garantes d'une recherche de l'acceptabilité sociale des projets (Shindler et coll., 2002)
5. suivi de la performance technique des projets (Saltzman et Marriott, 2008b)

Une diversification des cas était recherchée tant géographiquement qu'en termes de processus d'implantation de façon à rendre compte de toutes les conditions possibles d'implantation réussie des PGOSV. Cependant, les projets situés dans des pays dont le type de gouvernance ou le climat s'écartaient trop des conditions du Sud du Québec étaient éliminés. Les cas à étudier ont été déterminés de façon séquentielle en visant l'acquisition de nouvelles informations ou la validation de connaissances à chaque étude.

Le premier cas choisi selon les critères cités plus haut est Portland en Oregon. Cette ville jouit d'une reconnaissance internationale en matière d'implantation d'une variété de PGOV (WERF, 2009; Dunnett and Clayden, 2007). Une abondante documentation existe à ce sujet laquelle a été complétée par des visites de terrain. Puisque Portland est situé aux États-Unis, un second cas européen a été choisi. D'après la recension des écrits, Kronsberg, en Allemagne apparaissait comme le quartier durable européen le mieux pourvu en PGOSV (ARENE, 2005). De plus Kronsberg était un nouveau quartier alors que le cas de Portland portait surtout sur l'intégration de PGOSV dans un tissu urbain existant. Il était donc possible que le processus d'implantation dans ce cas diffère de celui mise en œuvre à Portland et ainsi apporte de nouveaux éléments à notre étude.

Un critère additionnel a été ajouté au moment de la sélection du troisième cas. Celui-ci devait être situé dans la même zone climatique que le Sud du Québec (fig. 23), ceci afin de s'assurer de l'applicabilité des résultats de l'étude dans cette région. Chicago et Philadelphie étaient candidates. Cependant Philadelphie a été choisie car une variété de PGOSV y avait été implantée alors que Chicago avait centré ses efforts sur les toits et ruelles vertes (WERF, 2009). Par ailleurs, la publication d'un manuel de gestion des eaux pluviales comportant des données claires pour l'implantation des PGO par la ville de Philadelphie était considérée un atout additionnel (Philadelphia Water Department, 2008).



Figure 23 : Situation géographique des quatre études de cas  
Source : L. Besson

Les recherches préalables et la recension des écrits incluant les manuels et fiches techniques ont donné lieu à plusieurs versions préliminaires de la grille d'analyse. L'étude du cas de Portland de même que la recension des publications scientifiques, les visites sur le terrain et les entrevues de concepteurs, gestionnaires ou planificateurs ont permis de raffiner et compléter cette grille d'analyse. Des ajouts proposés par le comité de suivi lors de la réunion du 3 juin 2010<sup>3</sup> ont aussi été intégrés à la grille.

Tableau 2 : Les grandes sections de la grille d'analyse

ANTECEDENTS
PHASE DE PLANIFICATION
PHASE DE MISE EN ŒUVRE
PHASE DE SUIVI
CARACTERISTIQUES TRANSPOSABLES AU QUEBEC
VALEUR AJOUTEE / BENEFICES
COUTS / INCONVENIENTS

Cette grille est divisée en 7 grandes sections (tableau 2). La grille complète peut être consultée à l'annexe B.2.

<sup>3</sup> Lors de cette réunion, le comité de suivi était composé de Dominique Filion (Ville de Montréal), Denis Brisson (Ville de Québec), Caroline Larrivée (Ouranos), Alain Mailhot (INRS-ETE) (membres du comité de suivi). Brahim Amarouche (stagiaire, direction de l'eau de la Ville de Montréal) était aussi présent.

Les quatre premières sections correspondent aux phases d'implantation telle que traitées dans les documents municipaux : contexte, planification et design, mise en œuvre et suivi (City of Portland, 2010, 2008a;TRCA/CVCA, 2010). Les trois dernières sections portent, elles, sur les caractéristiques des projets applicables au Sud du Québec et les valeurs ajoutées ou bénéfiques et les coûts et inconvénients.

Tableau 3. Extrait de la grille d'analyse. Phase de mise en œuvre. Exemple de titre et sous-titres.

PHASE DE MISE EN ŒUVRE	
PARTAGE DES COÛTS, EFFICIENCE ÉCONOMIQUE À LONG TERME	
<input type="checkbox"/>	
RÔLES DES ACTEURS DANS LA RÉALISATION DU PROJET	
<input type="checkbox"/>	
TYPES D'IMPLANTATION	
<input type="checkbox"/>	
NORMES D'IMPLANTATION DES OUVRAGES ET OUTILS RÉGLEMENTAIRES	
<input type="checkbox"/>	
SURVEILLANCE DES CHANTIERS	
<input type="checkbox"/>	
OUTILS DE CONCERTATION ET D'INFORMATION EN COURS DE PROJET	
<input type="checkbox"/>	
INFORMATIONS RÉVÉLÉES (CONTENU ET QUANTITÉ)	
<input type="checkbox"/>	
PARTICIPATION DES CITOYENS AU CHANTIER	
<input type="checkbox"/>	

Dans chaque section, sont abordés :

- les aspects du milieu biophysique, du milieu bâti, du cadre de vie, du milieu social et les aspects économiques pertinents à chaque phase du projet ou chaque rubrique
- la participation des citoyens et l'information aux citoyens.

Tableau 4. Extrait de la grille d'analyse. Exemple de titre, sous-titre et sous-catégories.

PHASE DE PLANIFICATION	
POTENTIALITÉ MULTIFONCTIONNELLE DES PROJETS	
<input type="checkbox"/> Verdissement <input type="checkbox"/> Apaisement de la circulation <input type="checkbox"/> Corridors piétons ou cyclistes <input type="checkbox"/> Autres	

Chaque section était à son tour divisée en sous-sections pour un total de 57 sous-sections. Il s'agissait donc de remplir autant que possible chacune des sous-sections à l'aide de la documentation disponible. La grille complète est disponible en annexe B.2. Lorsque des informations ne pouvaient être trouvées dans les documents, des demandes d'information spécifiques étaient adressées à des personnes contacts (annexe B.3).

#### **4.2. Simulation de l'impact de l'implantation maximale de PGOSV sur trois sites de l'arrondissement de Beauport sur les volumes et les débits de pointe d'eau pluviale**

Une description plus détaillée du secteur et des explications plus en profondeur de la méthodologie sont contenues dans le rapport en annexe (annexe A.2).

##### **4.2.1. Choix et description du secteur à l'étude: arrondissement de Beauport, ville de Québec, QC**

Une section de l'arrondissement de Beauport (fig. 24) a été choisie à cause de la possibilité de partager des données sur le réseau de drainage urbain de cet arrondissement avec une autre équipe travaillant déjà sur ce territoire soit l'équipe d'Alain Mailhot de l'INRS-ETE (Gestion des eaux pluviales et changements climatiques). De même la diversité d'utilisations du sol qu'on y retrouve était avantageuse pour une éventuelle application des procédures développées à d'autres secteurs ou villes (fig. 25). Rappelons que le degré d'imperméabilisation d'un territoire est généralement fonction de l'utilisation du sol sur ce dernier (Cavayas et Beaudouin, 2008). Ce territoire est décrit dans le *Report on the Simulation of Runoff Source Control Measure Implementation Scenarios in the Built Environment of Beauport* (Spector, 2012) consultable à l'Annexe A.2.

L'arrondissement de Beauport est une banlieue située au Nord-Est de la ville de Québec. Cet arrondissement présente un fort usage de l'automobile comme en témoignent ses larges boulevards, sa faible densité de population et ses importants centres commerciaux (Mathieu, 2003). Le système de drainage urbain de l'arrondissement est un système séparatif (Samuel Bolduc, communication personnelle, 2011).

Le réseau de drainage urbain a été modélisé par la ville de Québec avec le logiciel Storm Water Management Model (SWMM) v.5 de USEPA. Cette modélisation a été mise à la disposition de l'équipe par Mailhot et collaborateurs de l'Institut National de Recherche Scientifique (INRS) Eau-Terre – Environnement dans le cadre du projet Gestion des eaux pluviales et changements climatiques. Le modèle comporte un ensemble de sous-bassins de drainage des eaux pluviales généré dans SWMM. Ceux-ci correspondent aux sous-bassins réels du système de drainage de la ville. Les résultats des simulations de l'ajout de PGOSV effectuées dans le cadre du présent projet sont comparés à la situation actuelle et à la situation qui prévaudra pour la période 2041-2070 étant donné les changements climatiques.

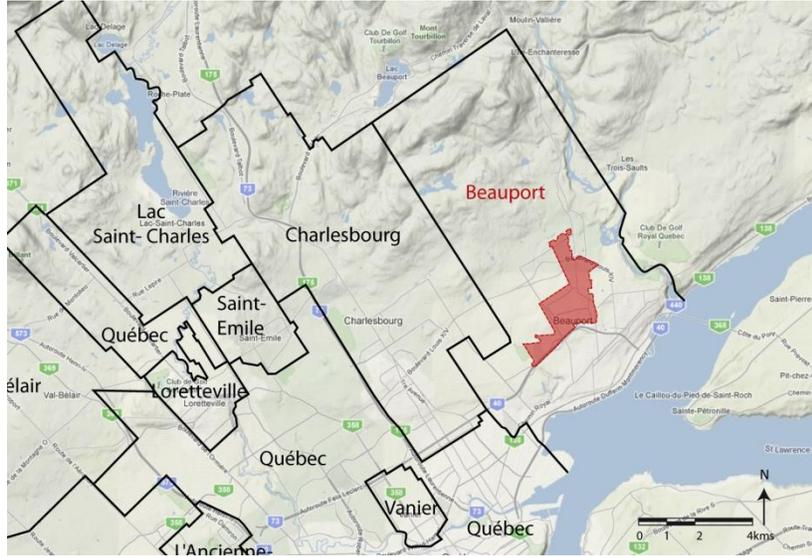


Figure 24 : Carte de localisation du secteur d'étude  
 Source : Google Maps, 2012, retouché par L. Besson

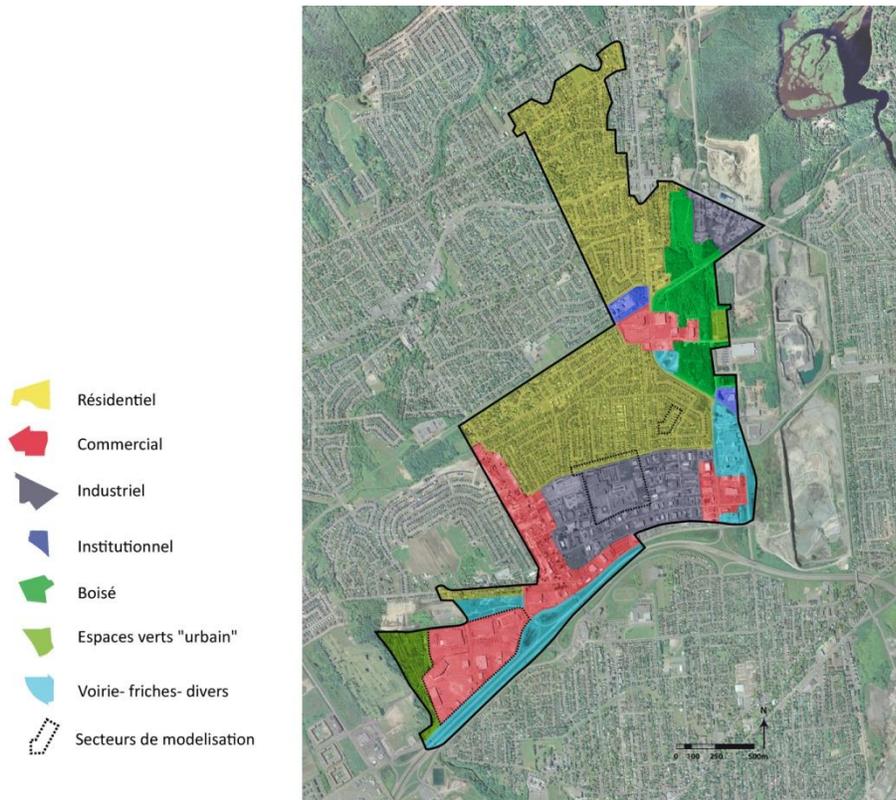


Figure 25 : Périmètre du site d'étude - occupation du sol et zones (appelées secteurs dans la légende) de modélisation  
 Source : Google Maps, 2012, retouché par L.Besson, d'après Samuel Bolduc, INRS (2011)

La simulation a plus particulièrement porté sur un secteur situé à proximité de la rivière Beauport (fig. 24). Vu l'arrimage tardif des deux projets, il ne fut pas possible de simuler l'implantation de PGOSV sur tout l'arrondissement voire même sur tout le secteur à l'étude par l'équipe de l'INRS. Cependant, l'outil d'aide à la décision développé dans cette simulation sera utilisé par l'équipe d'Alain Mailhot et son application alors étendue à tout le secteur. Trois zones présentant diverses utilisations des sols ont été choisies : une zone commerciale, une zone industrielle et une zone résidentielle (fig. 25, tableau 5). Rappelons que l'utilisation du sol joue sur la qualité des eaux de ruissellement (Whallen et Cullen, 1988), sur l'espace disponible pour l'implantation de PGOSV à cause de leur degré variable d'imperméabilisation (Cavayas et Beaudouin, 2008) et sur la difficulté d'implantation des PGOSV par la variabilité des modes de propriété (Fryd et coll., 2009). Ces zones et les sous-bassins qu'elles incluent sont représentés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Zones de modélisation

	Commerciale	Industrielle	Résidentielle
<b>Aires</b>	286 450 m <sup>2</sup>	117 690 m <sup>2</sup>	13 472 m <sup>2</sup>
<b># de sous-bassins (selon le modèle)</b>	18	6	3
<b>% Imperméable</b>	85%	77%	46%
<b>Sous-bassins (Google)</b>			
<b>Vues typiques du quartier (CPEUM)</b>			

#### 4.2.2. Choix des PGOSV pour l'ensemble des scénarios

Les PGOsV peuvent être regroupées en trois catégories: les PGOSV servant au prétraitement (bandes filtrantes), au transport des eaux de ruissellement (noues) notamment vers des PGOV de fin de chaîne de traitement (ex: marais filtrants, bassins de rétention végétalisés) et les PGOSV d'infiltration ou de rétention à la source (toits verts, zones de biorétention). Noues et bandes filtrantes se prêtent peu à l'implantation en milieu bâti existant vu l'espace qu'elles requièrent pour leur implantation. Toits verts et zones de biorétention ont donc été privilégiés avec, dans le cas des zones de biorétention, l'hypothèse de l'ajout d'un prétraitement compact tel que les trappes à sédiments. Par ailleurs, les PGO végétalisées de fin de traitement n'ont pas été considérées, d'une part afin de se conformer aux principes du LID fondés sur le contrôle à la source et, d'autre part, parce que certaines de ces PGO impliquent une rétention d'eau excédant les 24-48 heures, donc propice à la prolifération des moustiques (TRCA/CVCA, 2010) (tableau 6).

Tableau 6 : Critères techniques d'implantation

Type de PGOSV*	Sous-type	Sources de l'eau de ruissellement	Superficie max du bassin de drainage (ha)	Rapport superficies PGOSV: bassin de drainage	Pente du terrain ou du toit	Profondeur de la nappe phréatique sous le système	Capacité d'infiltration du sol en place	Réduction de volumes (TRCA/CVCA, 2010)
Toits verts	Extensif	Précipitations	S.O.	S.O.	Max 20° ou 36,4 %	S.O.	S.O.	45 - 55%
	Intensif							
Biorétention/ jardin de pluie	Infiltration complète	Stationnements, zones industrielles, commerciales, résidentielles, rues (note : infiltration complète avec eaux de toits, de terrains résidentiels ou de rues peu achalandées seulement)	1	5 à 10% de la surface drainante, minimum: 20m <sup>2</sup> (MPCA, 2005)	Inférieure à 5%	Au moins 1,2m entre la partie inférieure du système et la nappe	15mm/h et plus (vidange à l'intérieur de 48h)	85%
	Filtration avec recharge partielle						Vidange se fait dans un temps supérieur à 48h	45%
	Filtration avec recharge partielle et drain surélevé						S/O	
	Filtration seulement						S/O	

\* Sauf indications contraires, les données de ce tableau sont tirées de MDDEP (2011).

En fait, la rétention et l'infiltration à même des zones végétalisées ont aussi été utilisées comme contrôle à la source pour un scénario.

Bien que les zones de biorétention et les zones végétalisées puissent contribuer à l'enlèvement des polluants, la qualité de l'eau n'a pas fait l'objet de simulation dans le cadre du présent projet.

#### 4.2.3. Conception des sous-bassins.

Quatre éléments ont été pris en considération dans le design des sous-bassins des trois zones:

1. le type de PGOSV pouvant être implanté dans chaque zone,
2. les superficies des PGOSV à planter (dimensionnement)
3. leur localisation
4. la conception des PGOSV elles-mêmes (paramètres déterminés par SWMM).

##### 4.2.3.1. Type de PGOSV pouvant être implantés dans chaque zone

La première étape de la conception de sous-bassins consiste à déterminer quelle PGOSV sera utilisée dans chaque zone. Le tableau 7 résume les considérations retenues dans le choix de PGOSV en fonction de la zone à l'étude. Il faut noter que pour chaque zone permettant l'implantation de toits verts par la présence de toits plats, deux simulations ont été effectuées: l'une présupposant une capacité portante suffisante des toits et l'autre, non.

Tableau 7 : Choix de PGOSV pour chacune des zones.

Zone	Toits verts	Biorétention
Résidentielle	Non car toits en pente	Oui- infiltration
Industrielle	Oui- extensifs- hypothèse de capacité portante des toits suffisante	Oui-infiltration pour l'eau des toits- autrement filtration seulement sauf pour scénario 4 pour fins de comparaison.
Commerciale	Oui- extensifs- hypothèse de capacité portante des toits suffisante	Oui-infiltration pour l'eau des toits- autrement filtration seulement sauf pour scénario 5 pour fins de comparaison.

Les toits verts n'ont pas été retenus pour les zones résidentielles à cause de la pente des toits présents dans cette zone. Dans les autres cas (zones commerciale et industrielle), des toits verts extensifs ont été implantés. En effet, il était plus plausible que les structures des toits soient en mesure de supporter des toits verts extensifs (plus légers) qu'intensifs. La biorétention avec infiltration a été considérée dans les zones résidentielles ou pour recueillir les eaux du toit en raison du potentiel de contamination de la nappe phréatique par les eaux plus polluées des stationnements ou des zones industrielles (Davies et coll., 2009). L'infiltration a aussi été simulée pour fins de comparaison dans la zone industrielle pour le

scénario 4 et la zone commerciale pour le scénario 5. Dans tous les cas, un drain a été prévu à 200 mm de la base de la zone de façon à éviter l'accumulation excessive d'eau.

#### **4.2.3.2. Superficies des PGOSV à planter (dimensionnement)**

Pour les fins de cette étude, une maximisation des superficies de PGOSV était recherchée.

75% de la surface des toits étaient convertie en toits verts afin de prendre en considération l'espace requis pour les systèmes de ventilation, puits de lumières et autres équipements ou structures se trouvant sur les toits. Les eaux du 25% restant étaient acheminées vers une zone perméable.

La surface des zones de biorétention se situait en deçà de 10% de la surface drainée mais au-delà de 20 m<sup>2</sup>. La surface drainée elle-même n'excédait pas 1 ha tel que recommandé par le MDDEP (2011). Une largeur minimale de 2 mètres était prévue pour les zones de biorétention afin de permettre la croissance des arbres<sup>4</sup>.

#### **4.2.3.3. Localisation et choix des PGOSV dans chaque zone**

Aucune carte ne représentait la topographie actuelle du territoire. Par conséquent on a émis l'hypothèse du nivellement possible des surfaces afin d'acheminer l'eau dans les zones de biorétention. Tel que mentionné précédemment, le choix d'infiltrer ou non les eaux de ruissellement a été fondé sur la qualité présumée des eaux de ruissellement en fonction de l'utilisation actuelle du sol et non en fonction de la perméabilité des sols en place ou de la profondeur de la nappe phréatique puisque ces données n'étaient pas disponibles. On a considéré que seules les eaux en provenance des toits, des terrains résidentiels ou des voiries peu fréquentées se prêtaient à l'infiltration sauf dans le cas des scénarios 4 et 5 tel que mentionné précédemment.

#### **4.2.3.4. Zone commerciale (voir tableau 5)**

La zone commerciale consistait en grand parking asphalté comportant peu de végétation interrompu par de grands édifices à toits plats. Dans une première simulation, des toits verts ont été ajoutés à tous les édifices.

Des toits verts ont été implantés sur les bâtiments et des îlots de biorétention ont été dispersés dans le stationnement afin de réduire les îlots thermiques urbains. Pour ce faire, l'implantation d'îlots de biorétention dans le stationnement a été favorisée. Le stationnement comportait plus de cases de stationnement que le minimum et parfois même que le maximum autorisé par le nouveau règlement de la ville de Québec en cette matière (Ville de Québec, 2010a, 2010b, 2009). L'enlèvement de ces cases de stationnement a laissé beaucoup d'espace pour l'implantation de zones de biorétention (voir tableau 4 du rapport en annexe

---

<sup>4</sup> La largeur des zones de biorétention en stationnement varie selon les projets (ex : 1,95 m; (Dugué, 2010); 2,7 m. (Glorieux, 2010)).

A.2). Les dimensions des cases de stationnement étaient de 2.7m x 5.5m et la largeur des voies entre les cases de 6,5 m maximum (Ville de Québec, 2011). Bien que le design des systèmes ait été inspiré par le Oregon Museum of Science and Industry de Portland, des îlots en I ont été aménagées plutôt qu'en H pour faciliter le déneigement (Ville de Québec, 2011).

La figure 26 illustre l'aménagement résultant. Voir l'annexe A.2 du rapport pour plus de détails.



Figure 26 : Implantation de toits verts extensifs et d'îlots de biorétention dans le secteur commercial. Image aux fins d'illustration seulement car elle n'est pas à l'échelle. Voir la figure 25 pour l'orientation de chaque zone.

Source : Google Maps, retouché par A. Spector

#### 4.2.3.5. Zone résidentielle (voir tableau 5)

L'exiguïté des lots (fig. 27) et le nombre élevé de propriétaires rendent plus complexe l'implantation de PGOSV en milieu résidentiel (Fryd et coll., 2009). Il fut donc décidé de privilégier l'implantation en terrain public autant que possible.



Figure 27 : Implantation de zones de biorétention dans le secteur résidentiel. Image aux fins d'illustration seulement, n'est pas à l'échelle. Voir la figure 25 pour l'orientation de chaque zone.

Source : Google Maps, retouché par A. Spector

#### 4.2.3.6. Zone industrielle (voir tableau 5)

Cette zone se divise en deux parties: une zone industrielle à proprement parler et une petite zone résidentielle située au Nord. En l'absence de données sur leur utilisation, les espaces de stationnement et de transbordement ont été conservés. Les zones de biorétention ont donc été implantées dans les zones déjà végétalisées et un scénario de mise en place de toits verts a été considéré. Dans la portion résidentielle, les eaux des toits sont dirigées vers des zones de biorétention pour infiltration totale et les eaux de la voirie vers le terre-plein central du boulevard. La figure 28 illustre ces aménagements. Pour plus de détails, consultez l'annexe A.2.



Figure 28 : Implantation de toits verts et de zones de biorétention dans le secteur industriel. Image aux fins d'illustration seulement, car elle n'est pas à l'échelle. Voir la figure 25 pour l'orientation de chaque zone.

Source : Google Maps, retouché par A. Spector

#### 4.2.4. Conception des sous-bassins

Le modèle SWMM permet de calculer le ruissellement des zones imperméables de le diriger vers des nœuds, des conduites et une décharge. Les sous-bassins sont divisés en portions perméables et imperméables présentant différentes caractéristiques quant à leur débit, capacité de stockage et d'infiltration. Il est possible de traverser des zones perméables avant d'arriver à un nœud (fig. 29).

Le LID (Low Impact Development) Editor de SWMM fonctionne en convertissant une superficie donnée en contrôle à la source ou LID selon la terminologie utilisée dans le Manuel (Rossman, 2010). Il est possible de diriger une portion du ruissellement vers ce contrôle à la source (fig. 30). Les toits verts et les zones de biorétention font partie des LID disponibles dans le LID Editor.

Les détails de conception peuvent être consultés dans les annexes du rapport (annexe A.2).

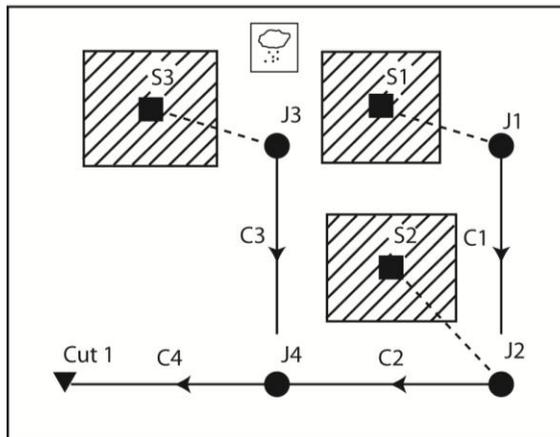


Figure 29: Conceptualisation dans le modèle SWMM  
(S-Sous-bassins, J-Noeuds, C-Conduites)  
Source : (Rossman, 2010, p.7)

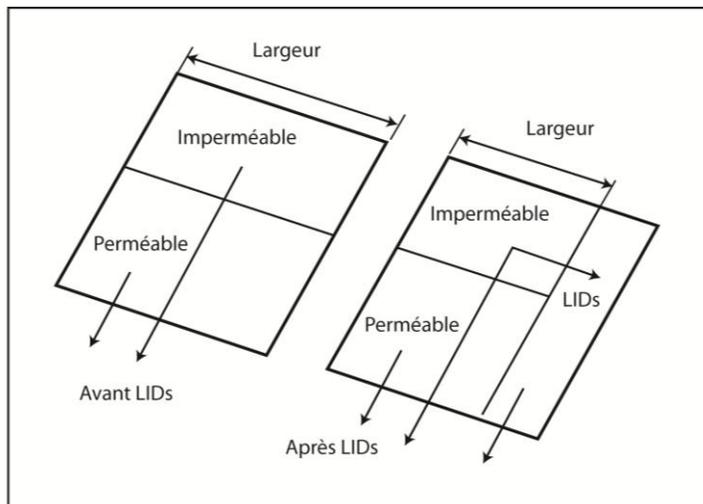


Figure 30: Conceptualisation de l'intégration des PGO dans le modèle SWMM  
Source : (Rossman, 2010, p.55)

Le modèle conceptualisant le fonctionnement des PGO est illustré à la figure 31. Le LID Editor traite les toits verts et les zones de biorétention de la même façon. Les caractéristiques hydrauliques de chacune des couches de la PGO sont entrées dans le système et ainsi, des PGO avec différentes caractéristiques de drainage sont créées.

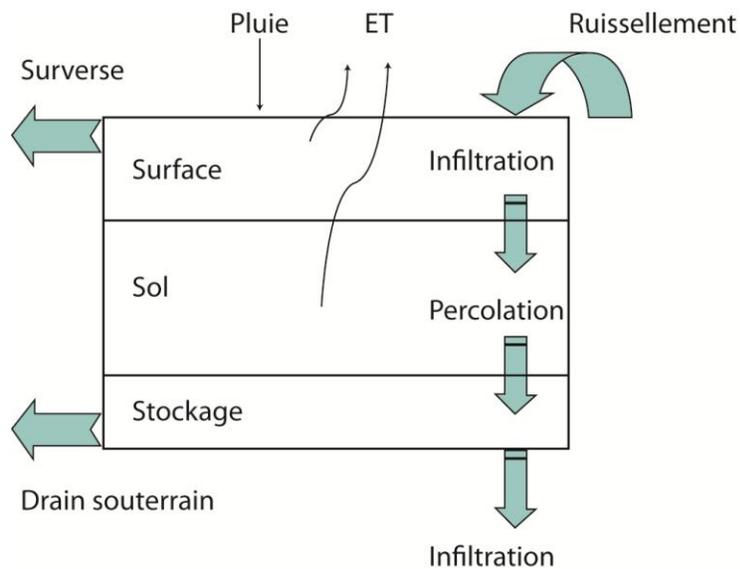


Figure 31: Conceptualisation d'un contrôle à la source par l'éditeur LID dans le modèle SWMM. Il n'y aura pas d'infiltration dans le sol en place dans le cas d'une PGO à fond imperméable.

Source : Rossman (2010, p.60)

La conception des toits verts et des zones de biorétention est bien traitée par le LID Editor. Les critères de conception retenus dans le LID Editor de SWMM sont listés au tableau 8. Les données pour la modélisation des toits verts ont été obtenues de Soprema (Marie-Anne Boivin, communication personnelle, été 2011) et celles des zones de biorétention proviennent du *Guide de gestion des eaux pluviales* (MDDEP, 2011). Les autres données nécessaires à la conception ont été tirées de SWMM (Rossman, 2010). La profondeur maximum spécifiée dans SWMM a été retenue pour la zone de biorétention alors que la profondeur de substrat sur le toit vert était gardée au minimum. Le sol utilisé pour la biorétention était un loam sableux tel que recommandé par le "Prince George Bioretention Manual" (Prince George County, 2009). Un substrat ayant des propriétés identiques a été utilisé pour simuler les toits verts. Enfin, 500 mm de gravier net sont prévus sous le substrat de façon à y installer un drain perforé de 200 mm de diamètre tel que recommandé par le MDDEP (2011). 200 mm de gravier net sont placés sous le drain pour éviter le gel du système.

Tableau 8: Valeurs utilisées dans SWMM

Couches	Description	Biorétention avec drain et fond imperméable		Biorétention pour infiltration complète		Toit vert	
		Valeur	Source	Valeur	Source	Valeur	Source
<b>Surface</b>							
Rétention	Profondeur maximale avant surverse	225 mm	MDDEP	225 mm	MDDEP	5.08mm	Soprema
Couverture végétale	Surface couverte par la végétation	0.03	SWMM	0.03	SWMM	0.03	SWMM
<b>Sol</b>							
Profondeur	Profondeur du sol ou du substrat	1250 mm	MDDEP	1250 mm	MDDEP	150mm	Soprema
Porosité	% pores p/r volume de sol	0.453	SWMM	0.453	SWMM	0.453	SWMM
Capacité au champ	Volume d'eau restant après écoulement de l'eau gravitaire	0.19	SWMM	0.19	SWMM	0.19	SWMM
Point de flétrissement permanent	Volume d'eau restant lorsque le sol devient trop sec pour l'extraction de l'eau par la végétation. Correspond au point où, pour un sol donné, un tournesol flétri ne peut reprendre vigueur même lorsque placé dans une chambre de croissance à 100% d'humidité relative (Brady et Weil, 2002).	0.085	SWMM	0.085	SWMM	0.085	SWMM
Conductivité hydraulique	Conductivité hydraulique du sol à saturation	10.92m/m	SWMM	10.92mm	SWMM	10.92	SWMM
Pente de la courbe de conductivité hydraulique	Pente de la courbe de conductivité hydraulique p/r à la teneur en humidité du sol	10	SWMM	10	SWMM	10	SWMM
Succion	Potentiel capillaire du sol	110mm	SWMM	110mm	SWMM	110	SWMM
<b>Stockage</b>							
Profondeur	Profondeur de la couche de gravier	500mm	*	500mm	*	14.76m	Soprema
Proportion de vide	Volume d'espaces vides p/r volume total.	0.75	SWMM	0.75	SWMM	0.75	SWMM
Taux d'infiltration	Taux d'infiltration maximal au moment de la construction.	0**mm/h	N/D	15mm/h	SWMM	0**m/hr	N/D
<b>Drain</b>							
Coefficient de drainage	Débit dans le drain en fonction de la hauteur d'eau entreposée au dessus du drain.	2.38mm/h	N/D	2.19mm/h		8.14	N/D
"Drain Exponent"		0.5	SWMM	0.5	SWMM	0.5	SWMM
Hauteur du drain	Hauteur du drain p/r au fond de la PGO.	50mm	*	200mm	*	7	N/D

\*Profondeur permettant l'installation d'un drain perforé de 200mm de diamètre tel que recommandé dans le Guide du MDDEP (2011).

\*\* Le fond est imperméable.

#### 4.2.5. Hypothèses de conception

Un certain nombre d'hypothèses de conception ont dû être posées afin de réaliser les simulations. Ces hypothèses sont exposées plus bas. Les changements apportés au modèle sont indiqués en italique.

Climat: non considéré par le modèle au départ. *Un taux d'évaporation de 3mm par jour a été retenu par l'équipe de l'INRS (EU Watch 2012).*

Pente: 2% pour la plupart des sous-bassins.

Direction du ruissellement: toujours d'une zone imperméable vers un drain selon le modèle. *Ceci a été modifié afin de permettre au ruissellement des toits verts d'être dirigé vers une zone perméable.*

Imperméabilité: tous les sous-bassins étaient considérés imperméables à 90% dans le modèle initial. *Le degré d'imperméabilité a été plutôt été calculé à partir des orthophotos.*

Rétention à la surface: Le pourcentage d'aires imperméables sans rétention était fixé à 25% pour tous les sous-bassins. *Cela été ajusté afin de prendre en considération la surface des toits. .*

Orthophotos: Les surfaces calculées à partir des orthophotos ne correspondaient pas toujours aux données du modèle. La conception a cherché à les ajuster autant que possible. Voir l'annexe A.2 pour plus de détails.

Sol: le sol en place était considéré identique sur tout le territoire et complètement sec au début des simulations. Le modèle d'infiltration de Horton était utilisé dans le modèle avec des taux d'infiltration de 150 mm/h et un minimum 15 mm/h avec une constante de décroissance de 4.14. *Ces valeurs ont été réduites à 80 mm/h, 7,5 mm/h et 4 par l'équipe de l'INRS respectivement ce qui correspond à un sol de type loam (Rivard, 2005).*

Pas de temps: des pas de temps de 5 minutes ont été utilisés en période de pluie, une heure en période sèche et un temps de routage de 60 secondes.

Profondeur de la nappe phréatique : la profondeur de la nappe phréatique était considérée suffisante pour implanter les PGOSV et infiltrer les eaux de ruissellement, le cas échéant.

Qualité des eaux de ruissellement : on a considéré que seules les eaux en provenance des toits, des terrains résidentiels ou des voiries peu fréquentées se prêtaient à l'infiltration sauf pour les scénarios 4 et 5 décrits dans la section suivante. Dans le cas du scénario 4, il s'agissait de comparer l'infiltration dans des zones de biorétention et dans des zones végétalisées (perméables). Dans le scénario 5, les performances de zones de biorétention avec infiltration complète et avec fond imperméable étaient comparées. Dans ces deux cas, Il fallait donc présumer que les eaux de ruissellement pouvaient être infiltrées.

#### 4.2.6. Simulations

Le tableau 9 décrit les cinq scénarios simulés pour chaque zone. Précisons que le traitement de 90% des pluies annuelles constitue le critère de contrôle de la qualité des eaux pluviales selon le MDDEP (2011). Le premier flot d'une pluie est en effet le plus chargé en polluants car il entraîne les particules ou liquides présents sur les surfaces sur lesquelles il ruisselle. Le volume total de la pluie dans ce cas présente peu d'importance.

Tableau 9 : Description des simulations

Scénario simulé	Description/ objectifs	Pluie/ note: simulations toujours sur 24 heures	Zones d'application
1. Gestion à la source de 90% des pluies annuelles	Traiter 90% des pluies annuelles pour un contrôle de la qualité de l'eau (MDDEP, 2011). Sert de point de comparaison avec les autres scénarios.	Pluie de type Chicago 26mm, durée 6 heures.	Commerciale, Résidentielle, Industrielle
2. Gestion à la source de 90% des pluies annuelles avec une augmentation de 15% de l'intensité (CC)	Idem + Prendre en considération les changements climatiques. Période 2041-2070 (Mailhot, communication personnelle, 2011)	Idem plus 15%	Commerciale, Résidentielle, Industrielle
3. Pluie de récurrence 2 et 10 ans	Vérifier les performances du système avec des pluies plus intenses.	Pluie de 2 ans: pluie de type Chicago, 29.8 mm en 3 heures. Pluie de 10 ans: idem, 46mm en 3 heures .	Commerciale
4. Gestion à la source de 90% des pluies annuelles. Acheminement des eaux vers les zones perméables (=végétalisées).	Comparer les performances des zones végétalisées et des PGOSV.	Pluie de type Chicago 26mm, durée 6 heures.	Industrielle
5. Infiltration	Comparer les résultats de l'utilisation de zones de biorétention à infiltration complète même en zone commerciale	Pluie de type Chicago 26mm, durée 6 heures.	Commerciale

Trois sous-scénarios ou options ont été simulés pour chaque scénario dans SWMM. Le premier cherche à reproduire la situation existante (*Statu quo*). Le second comporte une implantation maximale de zones de biorétention jusqu'à concurrence de 10% des superficies imperméables et le troisième, une implantation maximale de toits verts sur les bâtiments à toit plat complétée par l'implantation de zones de biorétention jusqu'à concurrence de 10% des superficies imperméables restantes. Ce dernier sous-scénario était exclu pour les zones résidentielles tel que mentionné précédemment. Notons que l'implantation d'une certaine

superficie de zones de biorétention était toujours tributaire des surfaces disponibles non réservées à d'autres usages. Par ailleurs, le pourcentage de surfaces imperméables pour chaque zone est indiqué au tableau 5.

#### **4.2.7. Limites du modèle**

Échelle: le modèle a été conçu pour un secteur beaucoup plus large mais les hypothèses de base qui le sous-tendent s'appliquent aussi aux simulations à plus petite échelle.

Ruissellement: dans chaque sous-bassin, l'eau était dirigée vers le nœud situé en amont même si d'autres nœuds étaient disponibles.

Saison et durée des simulations: la durée des simulations était de 24 heures et se situait en été.

Végétation: le modèle SWMM prend peu en compte les particularités de la végétation. SWMM considère les espaces végétalisés comme des espaces de rétention dans le sous-bassin ou volumes de rétention dans les PGOSV.

### **4.3. Vulnérabilité**

Rappelons qu'aux fins de cette étude, la vulnérabilité est composée de deux dimensions : la sensibilité et la capacité d'adaptation.

#### **4.3.1. Calcul des sensibilités territoriale et sociétale du territoire**

La sensibilité est le niveau à partir duquel un système (un environnement) est affecté par des turbulences internes et externes (aléas), elle est un attribut inhérent du système et existe indépendamment de la perturbation (Gallopain, 2006). La capacité d'adaptation fait aussi partie du système, elle se caractérise par l'habilité du système de s'ajuster au changement, mais aussi la capacité de déceler les opportunités. Comme la sensibilité, la capacité d'adaptation est aussi un attribut indépendant des perturbations ou aléas (Gallopain, 2006) (fig.18).

L'analyse de la sensibilité, la première dimension de la vulnérabilité, est réalisée en deux parties complémentaires. En premier lieu, une analyse de la sensibilité sociétale est effectuée, basée sur des caractéristiques de la population. Les données utilisées pour cette analyse proviennent du recensement de la population vivant dans l'arrondissement de Beauport. Ces données sont comptabilisées dans un indice de sensibilité sociétale normalisé. Ensuite, l'analyse de la sensibilité territoriale complète cette analyse. Comme son nom l'indique, ce sont les éléments territoriaux qui composent cette sensibilité, entre autres les types de logements, les activités économiques, les services et commerces, les réseaux de transport, etc.

Des études sur la vulnérabilité et sur la sensibilité d'une population et/ou d'un territoire ont été effectuées par plusieurs chercheurs. Ainsi il existe un certain nombre de méthodes d'analyse

(Bohm et coll., 2004; Brooks et coll., 2005; Chardon & Thouret, 1994; Cutter et coll. 2000 et 2003; Dwyer et coll., 2004; King & MacGregor, 2000; Yelataysi et coll., 2002; Yohe & Tol, 2002). Ce projet a été conduit en arrimage avec le projet de recherche de Thomas-Maret et coll. (en cours de publication), permettant ainsi l'application d'une méthodologie adaptée et uniformisée pour le territoire québécois. C'est donc la méthodologie développée dans le cadre du projet de Thomas-Maret et coll. qui est utilisée pour la création de l'indice de sensibilité sociétale dans le présent projet.

#### **4.3.2. Analyse de la sensibilité sociétale**

La sensibilité sociétale est basée largement sur les données statistiques de la population vivant sur le territoire. En plus de fournir un portrait démographique de l'arrondissement, un indice de sensibilité sociétale est calculé à partir de celles-ci. Cette capacité de quantifier la sensibilité sociétale permet d'en bonifier l'analyse (Cutter et coll., 2000).

##### **4.3.2.1. Calcul de l'indice de la sensibilité sociétale (ISS)**

Cet indice est une dérivée du *SOVI Index* développé par Cutter et coll. (2003). Le *SOVI index* présente une méthodologie validée et corroborée dans la littérature. Il est mis en application par plusieurs organismes tel que *Oxfam America* ou encore les *Centers for Disease Control and Prevention*, et l'*Agency for Toxic Substances and Disease Registry* américains (HVRI, 2011)

La première étape pour le calcul de l'indice débute par le rassemblement de tous les indicateurs sociaux susceptibles d'influencer la sensibilité. Ces indicateurs sont choisis essentiellement à partir des données de Statistiques Canada pour le recensement de 2006, et ce, pour les aires de diffusion. Le choix d'utiliser les aires de diffusion permet de faciliter l'analyse des données pour cette unité géographique et l'arrimage de celles-ci dans le logiciel de SIG. Il est important de se rappeler qu'une aire de diffusion est une unité géographique normalisée utilisée lors des recensements. Celle-ci est la plus petite région géographique, représentant quelques îlots et comptant entre 400 et 700 personnes (Statistique Canada, 2011). Grâce aux données obtenues, il est possible d'établir le portrait démographique pour l'arrondissement de Beauport.

En automne 2011, Thomas *et coll.* ont entrepris un atelier sur la validation des indicateurs afin de réduire le nombre de données utilisées dans le calcul de l'indice. De cet atelier, 12 indicateurs ont été validés par des professionnels et acteurs-clés comme étant susceptibles d'influencer la sensibilité sociétale. Nous avons ainsi préservé les mêmes 12 indicateurs pour l'étude de l'arrondissement de Beauport et le calcul de l'indice de sensibilité sociétale (tableau 10).

Tableau 10 : Liste des 12 indicateurs retenus pour l'analyse de la sensibilité sociétale

Indicateurs	
Nombre d'habitants (Total de la population par AD)	Pot_tot
Évolution de la population en ZI (Population 2006 — Population 2001)	evo_pop
Pourcentage de la population de 75 ans et plus	Pct_75pl
Pourcentage de la population de 14 ans et moins	Pct_014
Pourcentage de familles avec 3 enfants et plus	Pct_fam_3enf
Pourcentage de familles monoparentales	Pct_fam_mono
Pourcentage de demandeurs d'emploi (taux de chômage)	tx_chom
Fréquence du faible revenu des familles économiques après impôts	FE_faib_rev
Taux de location	tx_loc
Pourcentage d'immigrants récents (depuis 2001)	Pct_imm_rct
Part de la population ne comprenant ni le français ni l'anglais	Pct_aucune_lg
Part de la population des 25 ans et plus ne possédant aucun diplôme	Pct_ndipl

Ces variables ou indicateurs sont ensuite introduits dans une analyse statistique par composantes principales. Ce type d'analyse permet de réduire le nombre de variables par la transformation linéaire de variables intercorrélées menant ainsi à un nombre réduit de composantes non-corrélées. Ainsi, cette analyse regroupe les données dans des plus petits ensembles (composantes) (Vogt, 1993). Le seuil pour déterminer le nombre de composantes indépendantes à garder pour le calcul est de 75 % de la variance expliquée (Cutter et coll., 2003). Les valeurs obtenues pour chaque composante sont alors additionnées afin d'obtenir un indice pour chaque aire de diffusion.

#### 4.3.2.2. Analyse de la sensibilité territoriale

Il existe peu de méthodes d'analyse, mais surtout peu de littérature sur le concept de la sensibilité territoriale. En préconisant une méthode d'analyse intégrant l'utilisation des SIG, il sera possible de superposer la sensibilité sociétale et territoriale pour obtenir la dimension de la sensibilité globale de la zone à l'étude. Une démarche tenant compte des connaissances du territoire ainsi que des enjeux a été mise de l'avant par D'Ercole & Metzger (2009). En effet, cette démarche empirique permet de lier les enjeux et composantes du territoire avec la définition du risque (D'Ercole & Metzger, 2009). Le résultat de l'analyse est une carte de sensibilité territoriale indiquant les espaces sensibles engendrant une vulnérabilité pour l'ensemble du territoire. Ces espaces sont en partie constitués de composantes liées au fonctionnement du territoire, mais il est à noter que ces composantes sont elles-mêmes des aspects de sensibilités (D'Ercole & Metzger, 2009).

Inspirée par la démarche de D'Ercole & Metzger (2009), l'analyse de la sensibilité territoriale de l'arrondissement de Beauport se réalise en trois étapes. À savoir :

- 1\_ L'identification des composantes du territoire de l'arrondissement,
- 2\_ La construction d'une carte spatiale,
- 3\_ La synthèse de la sensibilité territoriale.

De ce fait, la première étape consiste à rassembler toutes les informations concernant les composantes territoriales contribuant au fonctionnement du territoire. Il est possible de

rassembler ces composantes sous des thèmes communs qui se révèlent être des enjeux pour l'arrondissement de Beauport (tableau 11). Contrairement à la méthode de D'Ercole & Metzger (2009), les composantes territoriales ont été encore une fois déterminées avec le projet de recherche de Thomas et coll. (en cours de publication). Toutefois, les indicateurs utilisés dans l'analyse de la sensibilité territoriale de l'arrondissement de Beauport diffèrent de Thomas-Maret et coll. car certains des indicateurs retenus n'étaient pas présent sur le territoire de l'arrondissement et d'autres ont été inclus puisque les données étaient disponibles.

Tableau 11 : Liste des 19 indicateurs, divisés selon des thèmes, pour l'analyse de la sensibilité territoriale

Thème	Indicateurs
Population	Localisation des logements pour personnes âgées Localisation des logements sociaux Localisation des services de santé (Hopitaux, cliniques, CHSLD) Localisation des garderies et CPE Localisation des écoles primaires et secondaires
Logement	Localisation des bâtiments résidentiels
Économie et activités	Localisation des bâtiments (commercial et industriel) Localisation des bibliothèques, des centres communautaires de loisirs et de sports
Infrastructures d'intérêt	Localisation d'épiceries Localisation des pharmacies Localisation des stations d'essence
Infrastructures critiques	Localisation des casernes de pompiers Localisation des stations de police Localisation des industries de transformation et/ou d'entreposage de matières potentiellement dangereuses Localisation des stations d'épuration et des usines de filtration
Indicateurs recommandés	Réseau routier Localisation des secteurs d'accès aux ponts (100 m) Réseau de distribution d'électricité Réseau de télécommunications Réseau de transport en commun

Une fois ces informations rassemblées, celles-ci sont cartographiées par l'entremise d'un SIG : le résultat est alors une carte spatiale. La cartographie synthèse se réalise par agrégation dans un maillage de 400 m de côté superposé sur le territoire (D'Ercole & Metzger, 2009) et non par un découpage par aire de diffusion, comme dans le cas de la sensibilité sociétale. Ainsi, chaque territoire est caractérisé par la présence ou l'absence d'indicateurs territoriaux sensibles (19 au maximum). La somme de ces composantes pour chaque matrice permet alors une représentation synthétique du territoire selon la concentration de composantes territoriales sensibles (D'Ercole & Metzger, 2009) et ainsi mettre en évidence la sensibilité territoriale.

Aucun calcul de la vulnérabilité avant et après l'implantation des PGOSV comme mesure d'adaptation aux changements climatiques n'a pu être effectué sur le territoire de Beauport.

Ceci s'explique :

1. par le décalage de plusieurs mois entre le début du présent projet et le début du projet de Thomas-Maret et coll. retardé de plusieurs mois
2. par le fait que les deux projets n'ont porté ni sur le même territoire (les rives de la Rivière-des-Prairies de la ville de Montréal pour Thomas-Maret et coll. et l'arrondissement Beauport à Québec pour ce projet) ni sur la même problématique (inondations pour Thomas-Maret et coll. et eaux pluviales pour ce projet).

#### **4.4. Prise en compte du cadre de vie**

Comme mentionné précédemment (section 3.1.2), le concept de cadre de vie renvoie aux espaces de la vie quotidienne des individus (ex. : rue, espace public, réseau cyclable, etc.). Si la qualité de ces espaces reste en bonne partie de la responsabilité des pratiques des professionnels de l'aménagement (architecture, architecture de paysage, urbanisme, design urbain), il s'avère opportun d'engager toute réflexion sur l'implantation des PGOSV en ayant à l'esprit les principales orientations d'aménagement pour le territoire urbain ciblé. Cette position a été adoptée par une équipe danoise (Fryd et coll., 2010, p. 312) qui recommande de consulter les « strategic development plans as a starting point for identifying urban development goals that could be actively supported by the implementation of sustainable urban drainage system ».

S'inspirant de cette approche, la présente recherche s'est appuyée sur les documents de planification urbaine (Schéma d'aménagement de la Communauté urbaine de Québec; Plan directeur d'aménagement et de développement, etc. (Ville de Québec, 2012 ; 2010a, b; 2005 a,b) du territoire d'étude sélectionné (Arrondissement de Beauport, Ville de Québec) afin de dégager les principales orientations d'aménagement avancées par la municipalité et de localiser les secteurs visés par ces dernières. Ce faisant, il s'agissait, au final, d'identifier les secteurs urbains les plus susceptibles d'offrir des occasions pour l'implantation de PGOSV de même que les fonctions urbaines secondaires (ex. : valorisation des corridors de déplacement, sécurité urbaine, qualité de l'air, éducation) qu'il serait souhaitable d'assurer par ces systèmes.

#### **4.5. Développement d'un outil d'aide à la décision pour l'implantation de PGOSV dans les municipalités du Sud du Québec**

Ce projet vise à développer un outil d'aide à la décision. Celui-ci doit être simple d'utilisation par divers professionnels. Il doit se prêter aux échanges entre ces professionnels, les élus et les citoyens pour faciliter l'acceptation sociale des choix effectués. En effet, l'acceptation sociale d'un projet repose sur le fait que les citoyens doivent considérer ce dernier comme une meilleure solution que le statu quo. L'information des citoyens joue donc un rôle dans l'acceptabilité sociale des projets.

L'outil d'aide à la décision a été développé en plusieurs étapes. Une version préliminaire de l'outil a été établie à partir d'éléments pertinents des études de cas et des critères d'implantation des PGOSV des manuels de gestion des eaux pluviales du MDDEP (2011) et de la région de Toronto (TRCA/CVCA, 2010). Les manuels de Philadelphie (Philadelphia Water Department, 2011), Portland (City of Portland, 2011 ; 2008) et Prince George County (Prince George County, 2009) et des articles (Davis et coll., 2009) ont aussi été consultés.

Le choix d'un arbre de décision s'est imposé lors de la mise à l'épreuve de la version préliminaire de l'outil dans la simulation de l'implantation maximale de PGOSV sur trois sites de l'arrondissement Beauport de la ville de Québec (voir section 4.2). L'arborescence nous semblait refléter le processus de décision d'implantation suivi lors de cette simulation à l'échelle du site.

Une première version de l'outil a été présentée pour commentaires à l'ensemble de l'équipe de recherche lors d'une réunion de travail tenue les 13 décembre 2011. Le 13 janvier 2012, une seconde réunion a porté sur une version remaniée de l'outil suite aux premiers commentaires. Suite à ces réunions, une troisième version de l'outil d'aide à l'implantation a été élaborée afin de d'être présentée à une vingtaine de professionnels municipaux, des ministères et du secteur privé lors d'un atelier de travail sur la procédure d'implantation. Cet atelier a été organisé le 27 janvier 2012 à la ville de Québec en vue de mettre à l'épreuve une version de l'outil destinée à l'implantation de PGOSV<sup>5</sup> à l'échelle d'un arrondissement. L'atelier visait à obtenir des rétroactions sur ce dernier en vue de l'améliorer. L'invitation et l'horaire de l'atelier peuvent être consultés à l'annexe B.4.

Les participants devaient représenter la diversité des groupes de professionnels pouvant être amenés à intervenir dans l'implantation des PGOSV. Ainsi, des ingénieurs spécialistes en drainage urbain, des urbanistes, une technicienne spécialiste du zonage, un commissaire à l'habitation, des spécialistes en environnement, des architectes paysagistes ont été invités à l'atelier. Ces professionnels provenaient majoritairement de la ville de Québec. Quelques-uns cependant œuvraient pour la ville de Montréal, pour des firmes de génie conseil (BPR et Genivar), ou pour des ministères (Ministère des affaires municipales, des régions et de l'occupation du territoire, Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs). Une représentante d'Ouranos participait à l'atelier. Les participants avaient été proposés par les municipalités concernées ou par Ouranos. La liste des participants est disponible à l'annexe B. 4. Chacun des participants a signé un formulaire de consentement éthique incluant une clause de confidentialité.

L'atelier prévoyait en matinée une mise en contexte du projet soit une explication du projet, des diverses PGOSV, du territoire et de la procédure et de l'application de la procédure (outil) à l'arrondissement jusqu'au choix de secteur. Cette présentation était dispensée à tout le groupe.

En après-midi, la mise à l'épreuve de l'outil pour la mise en place de PGOSV était effectuée en 4 équipes multidisciplinaires. La composition de ces groupes se trouve à l'annexe B. 5. Chacun des groupes avaient pour mandat de réaliser l'implantation maximale de PGOSV sur un des trois secteurs sélectionnés (fig. 32).

L'implantation devait s'effectuer à l'échelle de secteurs plutôt qu'à l'échelle de tout l'arrondissement. Tout comme dans le cas des simulations (section 4.2), ces secteurs ont été choisis par l'équipe recherche en fonction de leur diversité d'utilisation du sol (fig. 32). Le choix d'équipes multidisciplinaires était fondé sur la revue de littérature et sur les résultats des études de cas, notamment l'expérience de la ville de Portland (Kurtz, 2010). Après avoir

---

<sup>5</sup> Dans le cadre de cet atelier, les PGOSV étaient appelés des systèmes végétalisés de contrôle à la source des eaux pluviales (SVCSEP)

effectué un premier cycle de planification d'implantation de PGOSV avec trois équipes disciplinaires, Fryd et coll. (2010) se sont interrogés sur l'efficacité de cette composition. Les chercheurs ont d'ailleurs souligné que la ville de Copenhague fonctionne avec des équipes multidisciplinaires sans doute par souci d'économie de temps. Il semble donc que les équipes multidisciplinaires soient préférables d'après les indications pouvant être tirées de notre revue de littérature et des études de cas (Chapitre 2, section 5.4 et Dagenais et coll., 2011). Cependant, il faut préciser qu'aucune étude n'a véritablement comparé les résultats obtenus et le temps passé par des équipes disciplinaires et multidisciplinaires ayant travaillé en parallèle sur le même projet. Le choix d'équipes multidisciplinaires, bien que justifié par l'expérience, reste encore à appuyer par des résultats de recherche issus de protocoles expérimentaux.

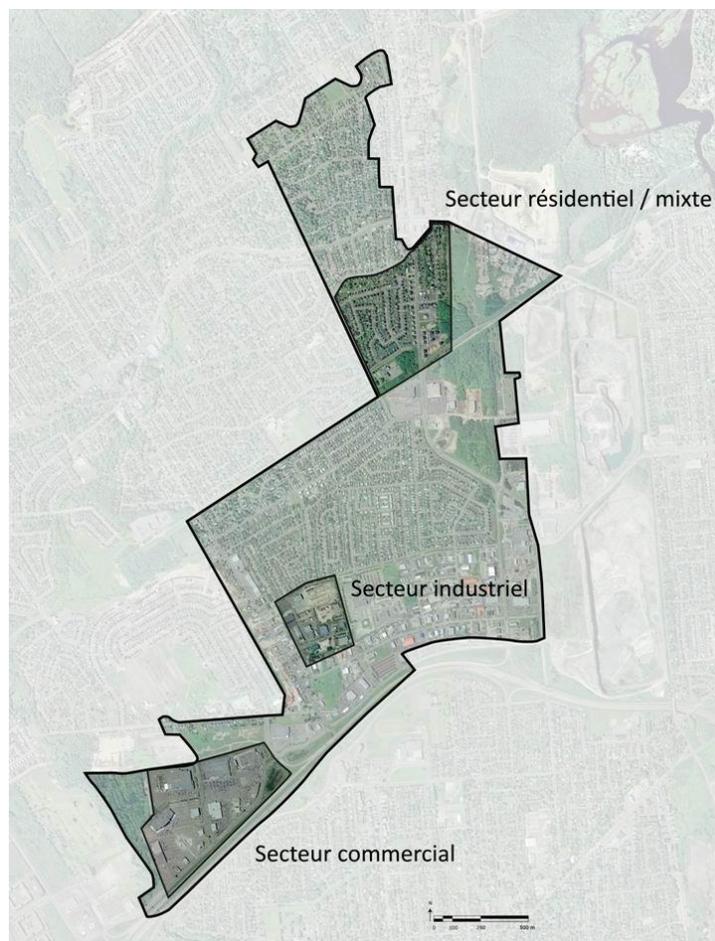


Figure 32 : Secteurs d'étude  
Source : Google Maps, retouché par L.Besson

Les résultats des délibérations de chaque groupe de même que la mise en commun finale ont été consignés par les auxiliaires de recherche présents dans chaque groupe. La responsable du projet animait la première partie de l'atelier (fig. 33). En après-midi, les quatre chercheurs à l'étude agissaient comme observateurs non participants.



Figure 33 : Atelier de travail du 27 janvier 2012 (Québec)  
Source : CPEUM

## 5. Résultats

Les résultats seront présentés séparément pour chaque aspect du projet

### 5.1. Études de cas

Les résultats de l'analyse des études de cas sont résumés par phases ou sections aux tableaux 12,13, 14, 15 et 16.

Tableau 12 : Contexte

CRITERES	PORTLAND	KRONSBURG	PHILADELPHIE	TORONTO
1. IMPULSION				

Qualité de l'eau	x		x	x
Lois et réglementations	x		x	x
Restauration du drainage naturel pré-urbanisation		x		
Modèles de quartiers durables		x		
<b>2. GESTION DES EAUX PLUVIALES</b>				
Bassin versant	x		x	x
Quartier		x		
<b>3. OBJECTIF PRINCIPAL</b>				
Santé des bassins versants	x		x	x
Equilibre hydrologique		x		

L'élément déclencheur de l'implantation des PGO dans les trois villes nord-américaines fut la prise de conscience de la détérioration de la qualité de l'eau d'un cours ou un plan d'eau récepteur (la rivière Willamette à Portland, le fleuve Delaware et la rivière Schuylkill à Philadelphie, le lac Ontario à Toronto). Cette détérioration était due soit aux eaux de ruissellement directement soit aux débordements du réseau unitaire suite à des pluies intenses. L'adoption du Clean Water Act fédéral en 1972 et la nécessité de se pourvoir de permis de rejets en vertu du National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) ont incité les villes américaines à se doter de plans de gestion des eaux pluviales par bassin versant (Philadelphia Office of Watershed, 2011; City of Portland, 2005,). Du côté canadien, la ville de Toronto s'est montrée sensible à la gestion des eaux pluviales dès les années 1980, en mettant en place des plans de gestions de gestion des eaux pluviales (WWFM Policy, 2003). En 1987, en dépit de ce plan, la ville de Toronto est cependant montrée du doigt par la Commission Mixte Internationale en charge d'assurer la protection des eaux limitrophes américano-canadiennes comme l'un des 43 sites préoccupants au chapitre de la qualité de l'eau dans le bassin des Grands Lacs (Commission mixte internationale, 31 janvier 2012; City of Toronto, 1998-2012). En réponse, un plan correcteur, le « Remedial Action Plan », assorti de règlement est mis en place afin de restaurer les qualités environnementales de la région (WWFM Policy, 2003).

Dans le cas de Kronsberg, le plan de gestion des eaux pluviales est orienté sur l'infiltration des eaux pluviales. Il résulte de l'urgence de maintenir le niveau de la nappe phréatique en sous-sol afin d'assurer la pérennité d'une forêt hygrophile de la région (voir section 3.1 de l'étude de cas à l'annexe A.1). Ce plan prône le maintien et même l'amélioration de l'équilibre hydrologique et par conséquent l'infiltration des eaux pluviales (Engelke, communication personnelle, 13 juin 2011; Rumming, 2004a).

Tableau 13 : Phase de planification (1)

CRITERES	PORTLAND	KRONSBURG	PHILADELPHIE	TORONTO
<b>4. MULTIFONCTIONNALITE / BENEFICES SECONDAIRES ATTENDUS</b>				

Esthétique	x	x	x	x
Qualité de l'air	x			x
Biodiversité et habitats	x	x	x	x
Activité économique			x	x
Education	x	x	x	x
Economies d'énergie	x	x	x	x
Verdissement		x	x	x
Identité	x			x
Qualité de vie	x		x	x
Potentiel récréatif			x	x
Sécurité / Amélioration des déplacements multimodaux	x	x	x	
Réduction des îlots de chaleur	x	x	x	x

Comme on peut le constater, les bénéfices attendus de l'implantation des PGOSV par les municipalités sont multiples : esthétique, biodiversité et habitats, éducation, économies d'énergie et réduction des îlots de chaleur sont mis de l'avant par les quatre municipalités à l'étude. L'apport esthétique des PGOSV et d'une gestion intégrée de l'eau est particulièrement mis en évidence à Kronsberg, alors que les PGOSV sont conçues comme des éléments aquatiques mettant en valeur les espaces publics et rendant visible le cycle de l'eau (Altevers et coll., 2000). Verdissement, qualité de vie, sécurité et amélioration des déplacements multimodaux sont des arguments aussi fréquemment mentionnés (Kurtz, 2010; City of Portland, 2011; Philadelphia Water Department). La multifonctionnalité est particulièrement évidente dans les élargissements de trottoirs servant de mesures d'apaisement de la circulation, de verdissement et de noue de biorétention (fig. 21). Or biodiversité, verdissement et réduction des îlots de chaleur sont liés (Conseil régional de l'environnement de Montréal (CRE), 2010). Il est étonnant de constater que la création d'habitats et l'augmentation de la biodiversité puisse être invoqués à Portland sans que le verdissement ne soit mentionné alors que l'inverse se retrouve dans les documents de Philadelphie.

Tableau 14 : Phase de planification (2)

CRITERES	PORTLAND	KRONSBURG	PHILADELPHIE	TORONTO
5. PARTICIPATION CITOYENNE / EDUCATION				

Planification intégrée		x	x	x
Planification et design	x			x
Mise en œuvre	x		x	x
Suivi	x		x	x
Organismes de coordination / Agences de liaison		x		
Partenariats avec des organismes communautaires			x	x
Réunions publiques	x	x	x	x
Littérature / Publications	x	x		x
Web / Internet	x		x	x
Participation à la plantation	x		x	x

La participation citoyenne était l'un des critères de choix des cas à étudier. Elle prend des formes diverses selon les municipalités et s'y produit à des étapes différentes de la planification ou de la mise en oeuvre. À Kronsberg les citoyens ont été mis au courant tout au long du processus d'implantation et informés par la suite mais sans participation active. (Karin Engleke, communication personnelle, 13 juin 2011; Altevers *et coll.*, 2000; Rumming, 2004a). À Philadelphie, des pétitions de citoyens peuvent amorcer l'implantation d'une rue verte (green street) et ces derniers sont invités à s'impliquer dans la gestion des bassins versants de cours d'eau traversant le territoire de la ville. (Philadelphia Water Department). À Portland, les citoyens se prononcent à certaines étapes critiques du processus d'implantation au moment du choix du quartier ou de la rue cependant la planification à l'échelle plus macro est effectuée par la ville (City of Portland, 2005). Un certain nombre de changements mineurs peuvent être apportés au choix d'emplacement ou au design au stade de 30% et 60% de conception (Drennan, sans date). On invite aussi les citoyens à planter et entretenir les végétaux des PGOSV mais non à effectuer des tâches pouvant avoir un impact sur la performance de ces derniers. Ainsi l'enlèvement des sédiments demeure une tâche dévolue aux services municipaux (Kurtz, 2010). À Philadelphie, la Pennsylvania Horticultural Society est partenaire du Philadelphia Water Department dans son Green Program destiné à réduire le ruissellement urbain par l'application des principes du LID (The Pennsylvania Horticultural Society, 2006; Philadelphia Water Department).

Des spécialistes sont même à l'emploi de la ville de Portland pour faciliter les relations avec les citoyens (Kurtz, 2010). Une agence de relation avec les citoyens a aussi été créée au moment de la construction de Kronsberg et a continué à œuvrer dans le quartier jusqu'à la prise en charge de son mandat par l'Agence de protection du climat (Klimachutzagentur) (Karin Engelke, communication personnelle, 13 juin 2011).

Tableau 15 : Phase de planification (3)

CRITERES	PORTLAND	KRONSBURG	PHILADELPHIE	TORONTO
----------	----------	-----------	--------------	---------

6. MANUEL DE GESTION DES EAUX PLUVIALES / TYPOLOGIE DE VBMP				
Manuel de gestion des eaux pluviales	x	x (non disponible en ligne)	x	x
Typologie de VBMP	x	partiellement	x	x
7. EQUIPES PLURIDISCIPLINAIRES				
Equipes pluridisciplinaires	x	x	x	x
8. INCITATIFS				
Soutien financier	x		x	x
Permis	x	x	x	
Réglementation	x	x	x	x
Taxes sur le rejet d'eaux pluviales	x	x	x	
Crédits de taxe	x		x	

Bien qu'ayant des secteurs en développement, Portland, Philadelphie et Toronto devaient composer avec un tissu urbain existant et donc avec une mise en place progressive de PGOSV sur les terrains publics et privés. Cela explique peut-être qu'elles aient chacune publié un manuel de gestion des eaux pluviales comportant de l'information technique et une typologie de PGO précises destinées aux concepteurs. Ces manuels peuvent être téléchargés gratuitement par Internet. Chacun des types de PGOSV décrit dans ces manuels est susceptible d'être implanté dans une variété de situations (City of Portland 2008b; Philadelphia Water Department, 2008).

À l'opposé, le plan directeur de Kronsberg est unique. Il a été conçu suite à un concours international d'architecture de paysage et de planification. Ainsi, si certaines PGO correspondent à un design standard, modulaire, répété à travers tout le quartier et même dans d'autres villes (*Mulden Rigolen* (noues), toits verts), l'innovation dans la déclinaison des divers types de PGO était encouragée. Plutôt qu'une approche d'ingénierie, le quartier a été conçu selon une approche paysagère inspirée du site (Rumming, 2004a) (fig. 34). Cette approche se retrouve sous diverses formes dans d'autres quartiers verts récents ou requalifiés notamment en Europe du Nord (Birch et coll., 2008 et résultats de visites de la chercheuse responsable à Malmö et Stockholm, Suède). Cependant, dans le contexte allemand, l'expérience de Kronsberg est à l'origine de nouveaux standards sur la réduction des surfaces imperméables et sur l'implantation des toits verts dans la ville centre voisine, Hanovre. L'infiltration des eaux pluviales sur la parcelle y était déjà requise (Rumming, 2004b).

De façon générale cependant, l'expérience de Portland, Philadelphie et Toronto reste plus directement transférable et adaptable à de nombreux contextes. Celle de Kronsberg s'applique à de nouveaux quartiers de densité moyenne, entre autres à cause de l'utilisation de noues très consommatrices d'espaces (Rumming, 2004b).



Figure 34 : *Mulden Rigolen* (noue), Kronsberg (Hanovre, Allemagne)  
Source : D. Dagenais

Il est important de signaler que dans toutes ces villes, l'implantation des PGOSV est effectuée par des équipes multidisciplinaires afin de s'assurer que tous les aspects de l'implantation seront considérés.

Toutes les villes étudiées ont adopté des règlements visant à forcer l'implantation de PGO sur les parcelles privées. Ainsi à Kronsberg, l'implantation des noues ou *Mulden Rigolen* est obligatoire tout comme l'infiltration de l'eau sur les parcelles privées lorsque techniquement possible (Rumming, 2004b). A Philadelphie et Portland, des règlements ont été adoptés afin de forcer les propriétaires à gérer l'eau pluviale sur leur site. À Portland, l'utilisation de PGOSV est obligatoire par règlement (City of Portland, 2008a), des frais de gestion des eaux pluviales sont perçus (Saltzman and Marriott, 2008a) et les propriétaires peuvent obtenir jusqu'à 5US\$/pi<sup>2</sup> (55,60US\$/m<sup>2</sup>) pour ajouter un toit vert sur leur propriété (City of Portland, 2011). À Philadelphie, le premier pouce d'eau pluviale (2,54 cm) doit être géré sur la parcelle pour tout espace imperméable connecté au réseau et ce, pour chaque nouvel aménagement créant 15,000 pi<sup>2</sup> (1393 m<sup>2</sup>) ou plus de perturbation de sol (Buranen, 2010). La ville de Toronto est la première ville nord-américaine à avoir adopté un règlement contraignant sur l'implantation de toits verts. Après le 31 avril 2010, en effet, tout immeuble, résidentiel, commercial ou institutionnel nouvellement construit comportant plus de 2,000 m<sup>2</sup> de surface doit comporter un toit vert. À partir du 30 avril 2012, ce règlement s'appliquera aux bâtiments industriels. Le pourcentage du toit devant être couvert par un toit vert augmente proportionnellement à l'augmentation de la surface de ce dernier (Ville de Toronto, sans date).

Tableau 16 : Phase de suivi

CRITERES	PORTLAND	KRONSBURG	PHILADELPHIE	TORONTO
1. SUIVI / EVALUATION				
Général		x	x	x
Technique	x	x		x
Volet économique - Analyse coûts/bénéfices	x	x	x	x
Disponibilité sur internet	x	x		x
2. ADAPTABILITE				
Adaptabilité au Québec	Oui	Limitée	Oui	Oui

Les performances techniques des systèmes font l'objet d'un suivi. Les résultats de ce suivi sont disponibles au grand public par internet, dans le cas des villes de Portland et Toronto (TRCA/CVCA, 2009, 2008, 2006; ex : Saltzman et Marriott, 2008b). Dans le cas de Philadelphie, les résultats des études menées à l'Université Villanova en partenariat avec la ville sont affichés sur internet (Villanova Urban Stormwater Partnership). Dans le cas Portland, le suivi est explicitement effectué afin d'améliorer la conception des ouvrages (City of Portland, 2004).

Des analyses avantages-coûts ont été effectuées par toutes les villes étudiées. Cependant plusieurs des avantages indirects y sont estimés et non calculés (Entrix, 2010; Toronto Water, 2009; PWD, 2009a; Altever *et coll.*, 2000; Saltzman and Marriott, 2008a; Altever *et coll.*, 2000).

### 5.1.1. Résumé des résultats des études de cas

Voici en résumé les résultats de ces études de cas :

- Ces études de cas mettent en relief l'importance de législations contraignantes au niveau supramunicipale sur la qualité de l'eau des cours d'eau récepteurs dans l'implantation massive de PGOSV pour les quartiers nord-américains déjà constitués. La recharge de la nappe phréatique ne semble pas une préoccupation dans ce cas.
- La multifonctionnalité des systèmes, un des critères de choix des cas à l'étude, est évoquée dans la présentation et la justification de l'implantation des PGOSV par les municipalités mais sans suivi pour étayer ces affirmations.
- Dans tous les cas, on observe l'utilisation en tout ou en partie de systèmes modulaires implantables dans une variété de situations et facilement concevables. Cette situation se reflète dans la publication de manuels et de guides fondés sur l'existence d'une typologie de PGOSV.

- Les citoyens sont partie prenante de l'implantation des PGSOV tant par le souci des municipalités de communiquer avec eux voire de les consulter que dans les règlements et subventions visant à accroître leur adoption de ces systèmes.
- L'implantation des PGOSV a impliqué de nouveau mode de fonctionnement (équipe multidisciplinaire) et de planification (par bassins versants) pour les municipalités déjà existantes. La prise en compte du cycle complet de l'eau incluant la recharge de la nappe phréatique ne semble avoir été faite que dans le nouveau quartier.
- Des suivis hydrologiques, de qualité de l'eau et économiques sont effectués dans toutes les villes, signe que ces pratiques sont encore considérées comme expérimentales et qu'elles nécessitent une adaptation à la réalité de chaque ville.

## 5.2. Simulations

Les résultats sont présentés par scénarios (voir tableau 9). Il faut préciser que le statu quo fait référence à la situation actuelle. Les zones de biorétention sont présentes dans les deux sous-scénarios alors qu'un seul sous-scénario prévoit l'ajout de toits verts. Ce sous-scénario n'a pas été considéré dans la zone résidentielle puisque les toits y étaient trop pentus. Les contraintes du site font en sorte que, dans certains cas, une proportion du ruissellement engendré par les surfaces imperméables (10% ou moins) ne peut être dirigée vers les PGOSV.

### 5.2.1. Scénario 1 : Gestion à la source d'une pluie de 26 mm sur 6 heures (contrôle de 90% des pluies annuelles).

Tableau 17: Résultats des simulations pour le scénario 1.

Zone			
Zone commerciale	Infiltration	Ruissellement	
Synthèse	Volume	Volume	Débit de pointe

	m <sup>3</sup> 6	10 <sup>6</sup> l	m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	1 447 617.6 <sup>7</sup>	5.9	2.12
Toits verts/biorétentions	1 711 827	0.32	0.07
% Variation	18%	-95%	-97%
Biorétentions	1 560 456.7	0.26	0.04
% Variation	8%	-96%	-98%
<b>Industrielle</b>			
Synthèse	Infiltration	Volume	Débit de pointe
	m <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> l	m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	720 189.6	2.01	0.36
Toits verts/biorétentions	717 223.1	0.09	0.01
% variation	0%	-96%	-97%
Biorétentions	729 951.1	0.03	0
% Variation	1%	-99%	-100%
<b>Résidentiel</b>			
Synthèse	Infiltration	Volume	Débit de pointe
	m <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> l	m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	197283.58	0.14	0.05
Biorétentions	208048.73	0	0
% Variation	5%	-100%	-100%

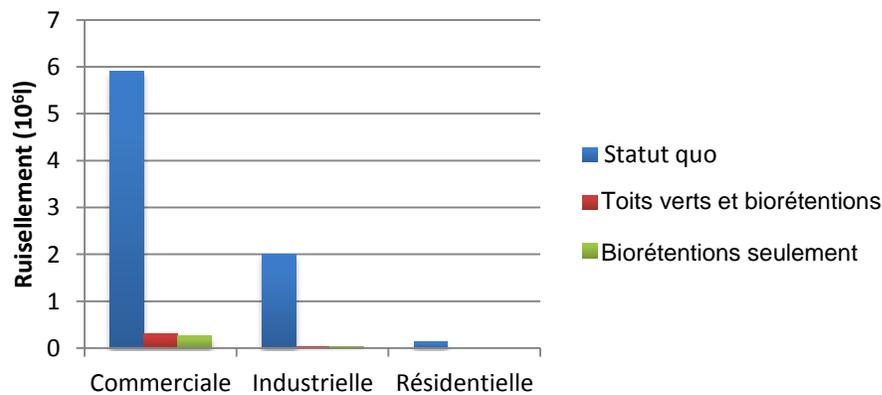


Figure 35 : Résultats des simulations pour le scénario 1 par zone. (Volumes: 10<sup>6</sup>l).  
Source : A. Spector. Annexe A.2.

Aucun écoulement de surface n'était détectable avec les PGOSV. Notons que SWMM ne permet pas l'ajout de trop-plein. L'absence d'écoulement de surface (surverse) signifie donc qu'il n'y avait pas de surcharge des PGOSV. Par contre, dans le cas de biorétentions dotées d'un fond imperméable (biorétention pour filtration seulement), il y avait un écoulement par le drain. Ce volume a été ajouté au volume de ruissellement.

<sup>6</sup> 1m<sup>3</sup>=10<sup>3</sup> litres

<sup>7</sup> Les pourcentages de surfaces imperméables pour chaque zone sont indiqués au Tableau 5.

Avec des réductions de volumes de 95 à 100% et un taux de rétention de 100%, des zones de biorétention totalisant 10% de la surface pouvaient largement contrôler les volumes de ruissellement de 90% des pluies annuelles (pluie de 26mm sur 6 heures). Les débits de pointe étaient réduits de 97 à 100%.

Les biorétentions seules étaient plus performantes que la combinaison biorétentions/toits verts. Il faut préciser que la surface occupée par les zones de biorétention devait représenter 10% des surfaces imperméables. Par conséquent lorsque les toits, imperméables, étaient convertis en toits verts considérés comme surfaces perméables, la dimension des zones de biorétention était ajustée en conséquence. Ceci explique que les zones de biorétention seules aient été considérées comme plus performantes que l'option biorétentions et toits verts. En effet, il est possible de stocker de plus grands volumes d'eau au-dessus et dans le fond de la zone de biorétention que dans un toit vert.

L'augmentation de l'infiltration était plus importante avec la combinaison toits verts/zones de biorétention dans la zone commerciale et l'inverse, dans la zone industrielle. Dans la zone commerciale, les zones végétalisées ont été converties en biorétentions à fond imperméable donc à infiltration réduite, alors que l'eau des toits verts était dirigée vers des zones perméables donc permettant l'infiltration. Dans le secteur industriel, la réduction des surfaces imperméables dues à l'implantation de la zone de biorétention dans une zone imperméable réduisait davantage les volumes que le fait d'infiltrer l'effluent du toit vert. Il faut ajouter que les surfaces relatives de toits verts étaient beaucoup plus importantes dans la zone commerciale que dans la zone industrielle.

#### **5.2.2. Scénario 2 : Gestion à la source d'une pluie de 26 mm + 15% sur 6 heures (contrôle de 90% des pluies annuelles pour la période 2041-2070 avec changements climatiques) (CC)**

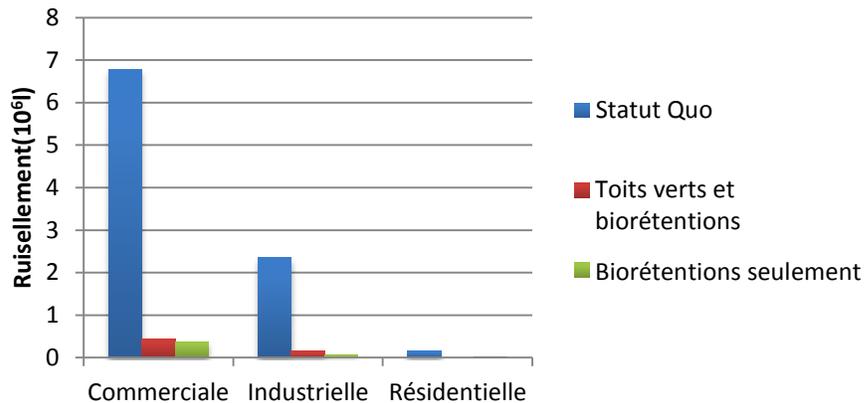


Figure 36 : Résultats des simulations selon le scénario 2 par zone, période 2041-2070 avec changements climatiques (augmentation de 15% des pluies de faible intensité). (Volumes: 10<sup>6</sup> l). Source : A. Spector. Annexe A.2.

Tableau 18: Résultats des simulations selon le scénario 2, période 2041-2017 avec changements climatiques (augmentation de 15% de l'intensité des pluies de faible intensité)

Zone			
Commerciale	Infiltration	Ruisselement	
Synthèse	Volume m <sup>3</sup>	Volume 10 <sup>6</sup> l	Débit de pointe m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	1 658 564	6.79	2.46
Toits verts/biorétentions	207 7461.1	0.45	0.09
% Variation	25%	-93%	-96%
Biorétentions	1 796 974.4	0.38	0.05
% Variation	8%	-94%	-98%
Industrielle			
Synthèse	Infiltration m <sup>3</sup>	Volume 10 <sup>6</sup> l	Débit de pointe m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	824 349.1	2.36	0.43
Toits verts/biorétentions	822 993.6	0.15	0.01
% Variation	0%	-94%	-98%
Biorétentions	838977.6	0.06	0
% Variation	2%	-97%	-100%
Résidentielle			
Synthèse	Infiltration m <sup>3</sup>	Volume 10 <sup>6</sup> l	Débit de pointe m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	225 855.57	0.16	0.06
Biorétentions	238 011.43	0.01	0.01
% Variation	5%	-94%	-83%

Aucun écoulement de surface. Écoulement par les drains pour les biorétentions à fond imperméable seulement.

La conception retenue dans le scénario précédent permet de gérer à la source 93% à 97% des volumes générés par une pluie de même durée et fréquence que la pluie employée dans les calculs du scénario 1 mais présentant une intensité augmentée de 15%. Cette augmentation d'intensité correspond à l'augmentation d'intensité des pluies plus fréquentes pour la période 2041-2070 avec changements climatiques selon l'équipe Mailhot. Les performances relatives pour les options toits verts et biorétentions et biorétentions seulement se sont maintenues dans ce scénario.

### 5.2.3. Scénario 3: simulations avec des pluies de récurrence 2 et 10 ans (zone commerciale seulement)

Tableau 19: Comparaison des résultats pour le scénario 1 et le scénario 3 (pluies de récurrence 2 et 10 ans). Zone commerciale seulement.

<b>Zone</b>			
<b>Zone commerciale</b>			
<b>Scénario 1</b>			
<b>Synthèse</b>	Infiltration	Volume	Débit de pointe
	m <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> l	m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	1447617.6	5.9	2.12
Toits verts/biorétentions	1711827	0.32	0.07
% Variation	18%	-95%	-97%
Biorétentions	1560456.7	0.26	0.04
% Variation	8%	-96%	-98%
<b>Pluie de récurrence 2 ans (29.9 mm/3h)</b>			
<b>Synthèse</b>	Infiltration	Volume	Débit de pointe
	m <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> l	m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	1660947.3	6.82	4.07
Toits verts/biorétentions	2104248.3	0.54	0.16
% Variation	27%	-92%	-96%
Biorétentions	1813515	0.49	0.09
% Variation	9%	-93%	-98%
<b>Pluie de récurrence 10 ans (46 mm/3h)</b>			
<b>Synthèse</b>	Infiltration	Volume	Débit de pointe
	m <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> l	m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	2126471.9	11.1	6.7
Toits verts/biorétentions	3062177.8	4.04	2.08
% Variation	44%	-64%	-69%
Biorétentions	2276741	4.52	2.32
% Variation	7%	-59%	-65%

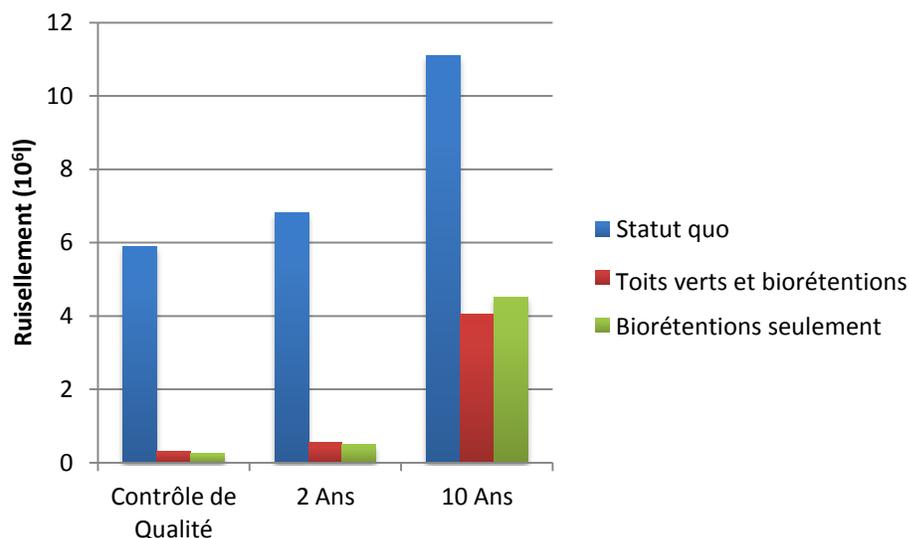


Figure 37 : Comparaison des résultats de simulations pour le scénario 1 et le scénario 3. (pluies de récurrence 2 et 10 ans). Zone commerciale seulement. (Volumes: 10<sup>6</sup> l).  
Source : A. Spector. Annexe A.2.

Il y a écoulement de surface pour les pluies de 2 et 10 ans ce qui indique une surcharge des PGOSV.

Tableau 20: Pourcentage moyen d'écoulement de surface pour des pluies de 2 ans et de 10 ans (zone commerciale)

	Pluie de 2 ans	Pluie de 10 ans
Biorétentions	2%	33%
Toits verts/biorétentions	1%	26%

Toute l'eau était évacuée en moins de 24 heures, même pour la pluie de 10 ans.

Les volumes engendrés par une pluie de 2 ans ont pu être gérés à la source pratiquement aussi efficacement que ceux engendrés par la pluie du scénario 1. Par ailleurs, 59-64% des volumes générés par une pluie de 10 ans étaient gérés à la source. Cela constitue une excellente performance compte tenu du fait que ces systèmes sont conçus pour gérer 90% de pluies annuelles qui génèrent des volumes d'eaux de ruissellement substantiellement moins importants.

Il est intéressant de noter que l'option toits verts et biorétentions permettait une meilleure gestion à la source de la pluie de 10 ans que l'option zones de biorétention seulement. Ce résultat s'explique peut-être par le fait que dans le modèle, au delà d'un certain seuil, la surface totale de PGOSV prime sur les choix même des PGOSV. L'infiltration s'est comportée comme dans les scénarios précédents.

#### 5.2.4. Scénario 4: Acheminement du ruissellement engendré par la pluie du scénario 1 vers les zones perméables (=végétalisées) (zone industrielle seulement)

Les résultats du scénario 1 sont comparés à un scénario dans lequel aucune zone de biorétention n'est insérée mais où tout le ruissellement est dirigé vers les zones perméables du sous-bassin.

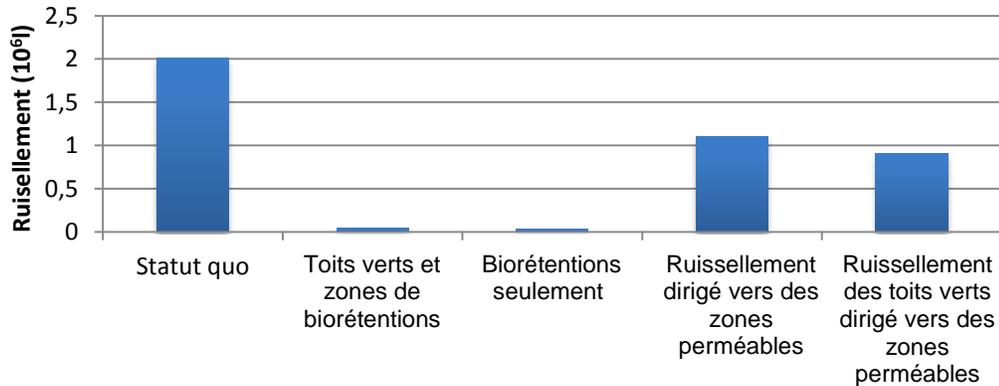


Figure 38 : Résultats des simulations pour le scénario 4. Eaux de ruissellement dirigées vers des zones perméables. Zone industrielle seulement. Source : A. Spector. Annexe A.2.

Tableau 21: Comparaison des résultats de simulations du scénario 1 et du scénario 4 (zone industrielle seulement)

Zone			
Zone industrielle			
Résultats du Scénario 1			
Synthèse	Infiltration	Ruissellement	Débit de pointe
	Volume m <sup>3</sup>	Volume 10 <sup>6</sup> l	m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	720189.6	2.01	0.36
Toits verts/biorétentions	717223.1	0.09	0.01
% Variation	0%	-96%	-97%
Biorétentions	729951.1	0.03	0
% Variation	1%	-99%	-100%
Résultats du scénario 4. Direction vers des zones perméables			
Synthèse	Infiltration	Ruissellement	Débit de pointe
	Volume m <sup>3</sup>	Volume 10 <sup>6</sup> l	m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	720 189.6	2.01	0.36
Toits verts/surfaces perméables	1 671730.7	0.91	0.13
% Variation	132%	-55%	-64%
Direction vers les zones perméables seulement	1 646274.7	1.10	0.16
% Variation	129%	-45%	-56%

La réduction des volumes dans ce scénario est moindre que dans le scénario 1 malgré la simulation d'une situation idéale dans laquelle toute l'eau ruisselant des zones imperméables pourrait être dirigée vers les zones perméables et ce, de façon égale.

Évidemment l'infiltration y est plus importante que dans le scénario 1 puisque les biorétentions installées en zone commerciale étaient munies d'un fond imperméable afin d'éviter l'infiltration des eaux chargées de polluants vers la nappe phréatique. L'augmentation de l'infiltration dans l'option biorétentions et toits verts est probablement due à la rétention provisoire des eaux sur les toits verts et donc au temps plus long alloué à leur infiltration, ainsi plus complète. Dans ce cas, l'ajout de toits verts réduit le ruissellement de 10%

Il est important de noter que les résultats de ce scénario ne sont pas directement comparables à ceux du scénario 1. En effet, pour effectuer cette simulation, les zones de biorétention ont été transformées en zones simplement perméables dans SWMM. Cependant, une certaine quantité de zones perméables existait déjà dans les sous bassins étudiés et SWMM les a amalgamées avec les nouvelles zones perméables créées aux fins de ce scénario. Par conséquent, la superficie des zones perméables représente plus que 10% des zones imperméables soit 34% dans le cas sans toits verts et 36% dans le cas avec toits verts, donc respectivement 3,4 fois et 3,6 plus d'espace que dans le cas des biorétentions. La différence de performance avec zones de biorétention et avec surfaces perméables seulement (volume :-99% p/r -45% et débit de pointe : -100% p/r -56%) est donc en fait beaucoup plus importante que ne le démontre cette simulation. Autrement dit, il est beaucoup plus avantageux de recourir aux PGOSV que cette simulation ne le laisse entrevoir.

### 5.2.5. Scénario 5: implantation de biorétentions avec infiltration complète (zone commerciale seulement)

Rappelons que les eaux de ruissellement étaient présumées de qualité suffisante pour être infiltrées aux fins de simulation de ce scénario

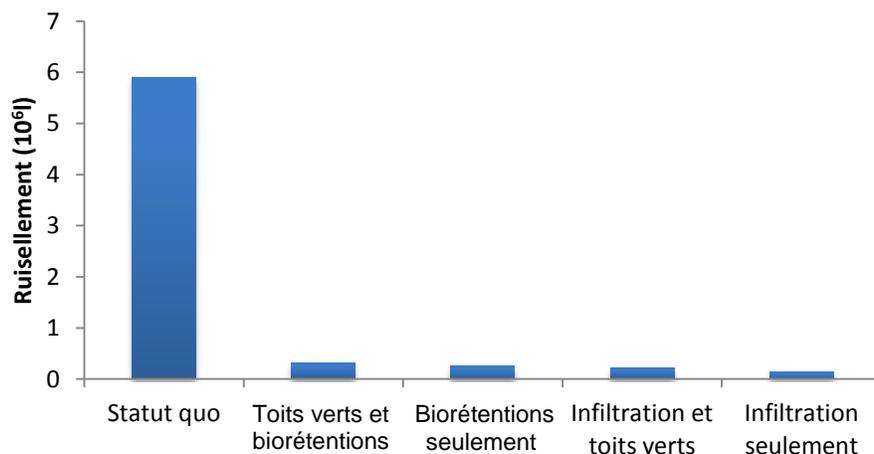


Figure 39 : Résultats des simulations pour le scénario 5. Biorétentions à infiltration complète. Zone commerciale seulement. Source : A. Spector. Annexe A.2.

Tableau 22: Résultats des simulations du scénario 5. Implantation de biorétentions avec infiltration complète (zone commerciale seulement)

<b>Scénario 1</b>			
<b>Synthèse</b>	Infiltration	Ruissellement	Débit de pointe
	m <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> l	m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	1447617.6	5.9	2.12
Toits verts/biorétentions	1711827	0.32	0.07
% Variation	18%	-95%	-97%
Biorétentions	1560456.7	0.26	0.04
% Variation	8%	-96%	-98%
<b>Scénario 5. Biorétentions avec infiltration complète</b>			
<b>Synthèse</b>	Infiltration	Ruissellement	Débit de pointe
	m <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> l	m <sup>3</sup> /s
Statu Quo	1447617.6	5.9	2.12
Toits verts/biorétentions	2134676.6	0.22	0.07
% Variation	47%	-96%	-97%
Biorétentions	2007770.6	0.15	0.04
% Variation	39%	-97%	-98%

Dans tous les cas il n'y avait aucun écoulement de surface des PGOSV.

On observe peu de différence entre les résultats obtenus avec ce scénario qui supposait l'implantation de zones de biorétention avec infiltration totale par rapport aux résultats du scénario 1. La performance plus élevée observée dans le présent scénario est probablement due à la perte de volume par le drain des zones de biorétention du scénario 1. Ce volume simplement stocké au fond de la zone de biorétention puis infiltré dans le scénario 5. L'infiltration est nettement supérieure tel que prévu.

Les résultats d'infiltration sont cohérents avec les résultats obtenus dans le scénario 1.

### 5.2.6 Résumé des résultats pour les simulations

En résumé, les simulations effectuées selon les 5 scénarios permettent de dégager les constats suivants.

1. L'implantation de zones de biorétention avec ou sans toits verts représentant 10% des surfaces imperméables permettait de gérer à la source la presque totalité des volumes d'eaux de ruissellement engendrés par 90% des pluies annuelles soit de 95% à 100% des volumes d'eaux de ruissellement pour une pluie de 26 mm d'une durée de 6 heures. Les débits de pointe étaient réduits de 97% et plus. Rappelons que le

phénomène de premier flot est responsable de la majeure partie de la charge polluante des eaux de ruissellement et que traitement de 90% des pluies annuelles constitue un critère de contrôle de la qualité des eaux pluviales.

2. Le constat précédent s'applique à des pluies de mêmes durée et fréquence pour la période 2041-2070 en tenant compte d'une augmentation de 15% de l'intensité des pluies les plus fréquentes (scénario 2). Les volumes étaient réduits de 93-97% et plus et les débits de pointe de 83% à 100% pour le scénario 2.
3. Les zones de biorétention et les toits verts permettaient de réduire les volumes d'au moins 59% et les débits de pointe d'au moins 65% même pour des pluies de récurrence 10 ans. Cela confirme l'intérêt de ces pratiques même pour la gestion à la source des pluies générant des volumes plus importants. Par ailleurs, la profondeur de la zone de rétention en surface de la zone de biorétention avait été fixée à 225 mm pour les fins de la simulation. Cependant l'expérience de la zone de biorétention du Mountain Equipment Coop montre qu'il est possible de gérer des pluies encore plus importantes en augmentant la profondeur de la zone de rétention en surface et dans certain cas en tirant partie des surfaces environnantes (Dugué, 2010).
4. Diriger les eaux de ruissellement vers les zones perméables est une alternative peu coûteuse à l'implantation de PGOSV. Cependant elle exige proportionnellement plus de superficie pour des performances moindres. En effet, les volumes et débits de pointe étaient respectivement réduits de 45% et 56% respectivement plutôt que de 99% et 100% respectivement et ce, pour des zones perméables 3,5 fois plus étendues que les superficies de PGOSV utilisées dans le premier scénario. De plus, cette alternative ne peut être considérée que si les eaux sont de qualité suffisante pour être infiltrées.
5. L'utilisation de zones de biorétention avec infiltration complète a augmenté l'infiltration sans augmenter la réduction des volumes ou des débits de pointe. Cela vient sans doute du fait que les zones de biorétention ont été conçues au départ pour retenir la pluie avec laquelle la simulation a été effectuée. Elles comportaient des zones de stockage en surface et tout au fond de la zone de biorétention. Il eut été intéressant d'effectuer la même simulation avec des pluies de 10 ans. Il faut enfin préciser que, tout dépendant de la profondeur de la nappe phréatique sous-jacente, l'infiltration des eaux d'un stationnement commercial de cette importance ne serait sans doute pas indiquée vu leur charge polluante potentielle.

### **5.3. Bilan hydrologique pour les scénarios 1, 3 et 5 (zone commerciale)**

Afin de comprendre le bilan hydrologique des zones de biorétention, le bilan hydrologique d'une zone de biorétention de 864m<sup>2</sup> dans la zone commerciale a été réalisé. Ce bilan a été établi pour les scénarios 1 (gestion à la source d'une pluie de 26 mm sur 6 heures (contrôle de 90% des pluies annuelles)), 3 (gestion à la source pour les pluies de récurrence 2 et 10 ans) et 5 (zones de biorétention à fond imperméable et perméable) (Tableau 23; Tableau 9 pour la description des divers scénarios).

Tableau 23: Résultats des bilans hydrologiques pour une zone de biorétention avec ou sans infiltration, pour les pluies de conception (scénario 1), de récurrence 2 ans et de récurrence 10 ans

Type de pluie	Infiltration	Temps écoulé	Afflux totaux	Evap. totale	Surface d'infiltr.	Perc. sur sol	Infiltr. souter.	Ruissel. surface	Drain de sortie	Surface Depth	Prof. de stockage
		Hours	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/hr	mm/hr	mm/hr	mm	mm
Pluie de conception*	Non	2	32.31	0	29.01	0	0	0	0	0.14	0
Pluie de conception*	Oui	2	32.31	0	29.01	0	0	0	0	0.14	0
Pluie de récurrence 2ans	Non	2	60.95	0	32.13	0	0	0	0	205.87	0
Pluie de récurrence 2ans	Oui	2	59.21	0	31.82	0	0	0	0	198.83	0
Pluie de récurrence 10 ans	Non	2	92.16	0	31.45	0	0	<b>62.72</b>	0	225	0
Pluie de récurrence 10 ans	Oui	2	92.16	0	31.45	0	0	<b>62.72</b>	0	225	0
Pluie de conception*	Non	4	30.44	0	24.45	0	0	0	0	148.25	0
Pluie de conception*	Oui	4	30.44	0	24.45	0	0	0	0	148.25	0
Pluie de récurrence 2 ans	Non	4	0.63	0.13	22.28	0	0	0	0	203.02	0
Pluie de récurrence 2 ans	Oui	4	0.61	0.13	22.08	0	0	0	0	195	0
Pluie de récurrence 10 ans	Non	4	0.8	0.13	21.99	0	0	0	0	208.75	0
Pluie de récurrence 10 ans	Oui	4	0.8	0.13	21.99	0	0	0	0	208.75	0
Pluie de conception*	Non	21	0	0.13	0	1.92	0	0	1.93	0	50.66
Pluie de conception*	Oui	21	0	0.13	0	1.92	1.93	0	0	0	0.37
Pluie de récurrence 2 ans	Non	21	0	0.13	0	2.52	0	0	2.55	0	51.14
Pluie de récurrence 2 ans	Oui	21	0	0.13	0	2.37	2.38	0	0	0	0.46
Pluie de récurrence 10 ans	Non	21	0	0.13	0	2.71	0	0	2.74	0	51.32
Pluie de récurrence 10 ans	Oui	21	0	0.13	0	2.71	2.72	0	0	0	0.53
Pluie de conception*	Non	24	0	0.13	0	1.83	0	0	1.84	0	50.6
Pluie de conception*	Oui	24	0	0.13	0	1.83	1.83	0	0	0	0.36
Pluie de récurrence 2 ans	Non	24	0	0.13	0	1.83	0	0	1.84	0	50.6
Pluie de récurrence 2 ans	Oui	24	0	0.13	0	2.24	2.24	0	0	0	0.44
Pluie de récurrence 10 ans	Non	24	0	0.13	0	2.54	0	0	2.56	0	51.15
Pluie de récurrence 10 ans	Oui	24	0	0.13	0	2.54	2.54	0	0	0	0.49

\* Pluie 26 mm sur 6 heures ( $\leq 90\%$  des évènements annuels)

Plusieurs résultats intéressants ressortent de cet exercice. Le seul scénario présentant une perte d'eau pour le système est le scénario de pluie de 10 ans et encore, toute perte cesse une heure après la fin de la pluie. Tel que mentionné auparavant, les zones de biorétention à fond perméable permettent une infiltration substantielle des eaux pluviales. D'ailleurs, le recours à une zone de stockage au fond de la zone de biorétention permet d'allonger le temps d'infiltration et donc les volumes d'eau infiltrée. En effet, il restait très peu d'eau dans la zone de stockage après les 24 heures de simulation. Tout ceci, démontre que les zones de biorétention ont la capacité de retenir des quantités appréciables d'eaux de ruissellement et dans le cas des biorétentions avec fond perméable, de retarder les retours d'eaux dans le système de drainage.

L'erreur de continuité est de 5% pour le ruissellement de surface et le routage du ruissellement pour tous les scénarios.

#### 5.4. Vulnérabilité

Il faut préciser que la définition de vulnérabilité et de risque utilisée lors de la présentation de la proposition et des objectifs initiaux du projet se limitait à l'exposition aux aléas. Or tel que mentionné précédemment, le concept de vulnérabilité retenu aux fins de projet et du projet de Thomas-Maret et coll., est plus complexe et lié au concept de risque. La définition de risque intègre l'exposition aux aléas -en l'occurrence ici les pluies plus intenses résultant des changements climatiques- et la vulnérabilité. Cette dernière se compose des sensibilités sociétales et territoriales et de la capacité d'adaptation des communautés (Thomas-Maret et coll., sous presse).

La carte de l'exposition aux aléas c'est-à-dire aux refoulements d'égouts n'a pas été réalisée dans le cadre du présent projet tel que mentionné précédemment. La carte des îlots de chaleur a été préparée aux fins de l'atelier de validation de l'outil d'aide à la décision tenu le 27 janvier 2012. Le résultat du calcul et de la cartographie des sensibilités selon la méthode développée par Thomas-Maret et coll. est présenté ici. La cartographie de l'adaptation puis de la vulnérabilité résiduelle pour l'arrondissement de Beauport n'a pu être effectuée car le projet de Thomas-Maret et coll. dans lequel la méthode devait être développée pour évaluer ces aspects n'a porté ni sur le même territoire ni sur la même problématique.

#### **5.4.1. Exposition aux aléas**

L'exposition aux retours d'égouts n'est pas présentée dans le cadre de ce projet. Par ailleurs afin d'illustrer ce que nous entendons pas carte d'exposition à un aléa, la carte des îlots de chaleur pour l'arrondissement est présentée à la figure 40.

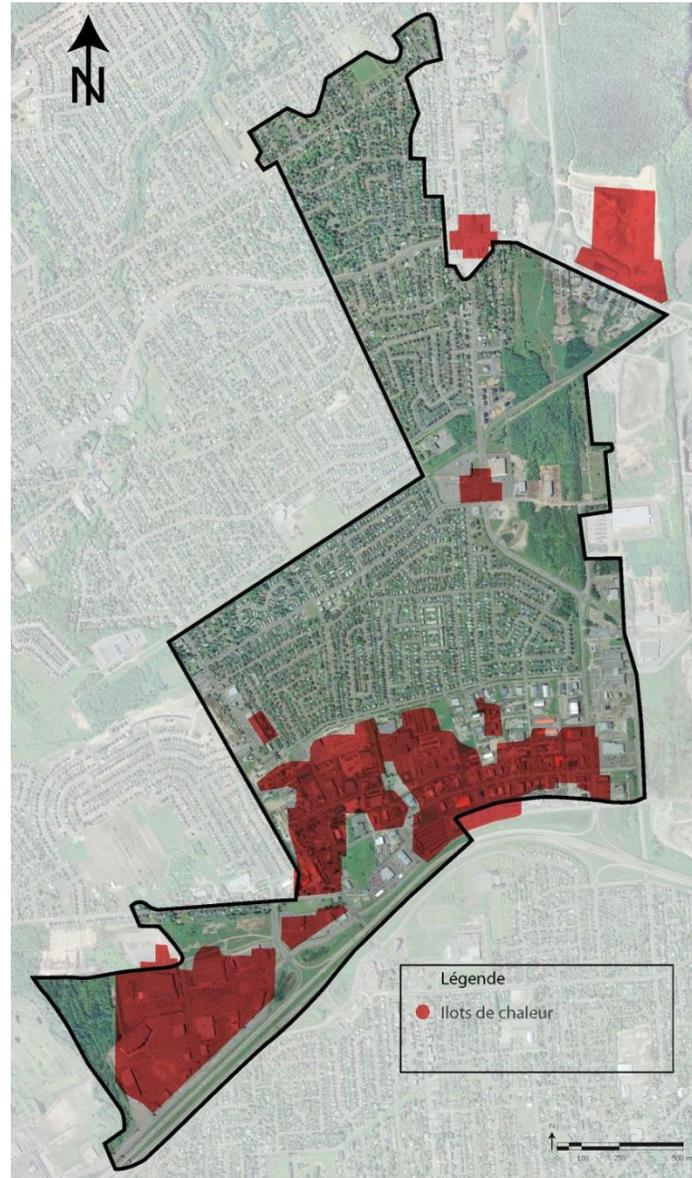


Figure 40 : Carte des îlots de chaleur

Source : Institut National de Santé Publique du Québec - Gouvernement du Québec (2012)

#### 5.4.2. Sensibilité sociétale

Le portrait démographique de l'arrondissement selon les données statistiques permet de représenter la répartition de la population selon certains aspects sociaux, notamment l'âge, la densité de la population et le niveau d'activité (fig. 41). Ainsi, en intégrant toutes les valeurs pour chacune des 12 variables présentées dans le tableau 24 dans un logiciel de système d'information géographique (SIG), il est possible de les représenter selon l'aire de diffusion. Rappelons qu'une aire de diffusion est une unité géographique normalisée utilisée lors des recensements. Celle-ci est la plus petite région géographique, représentant quelques îlots et comptant entre 400 et 700 personnes (Statistique Canada, 2011).

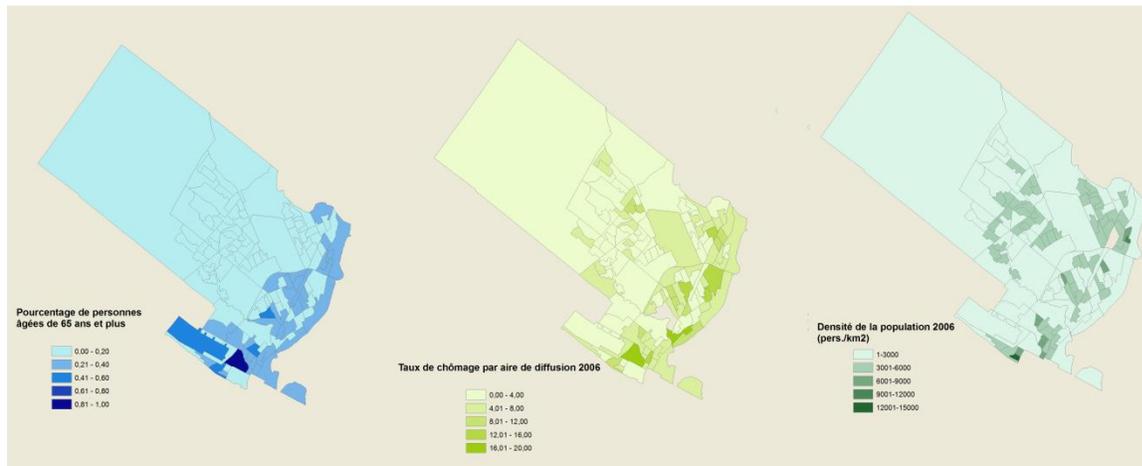


Figure 41 : Portrait démographique de l'arrondissement de Beauport par aires de diffusion selon le recensement 2006 de Statistique Canada  
Source : Chanthamala, Annexe A.3, p. 9

Comme mentionnées précédemment, les variables sont analysées par composantes principales. Cette analyse est réalisée dans le logiciel d'analyse SPSS. Toutes les données ont d'abord été centrées et réduites. En conséquence, toutes les valeurs nulles ont été remplacées par la valeur la plus faible ou encore la moyenne. Ensuite, les valeurs sont analysées par les composantes principales. Le seuil déterminé de 75 % pour la variance expliquée a permis de réduire le nombre de composantes à 8 regroupant 10 variables. Le tableau 24 présente les corrélations entre chaque variable pour chacune des composantes. Le seuil de corrélation a été fixé à  $>0,500$  et  $<-0,500$ , tel que considéré par Cutter et coll. (2003, 2000). Ainsi, les composantes sont expliquées par un certain nombre de variables corrélées permettant ainsi de les catégoriser. Par exemple, la composante 6 peut se nommer *Immigration*, puisque seule la variable *Pourcentage d'immigrants récents* explique cette composante (tableau 25).

Tableau 24 : Matrice de corrélation de la sensibilité sociétale suite à une analyse par composantes principales dans SPSS.

	Composante							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pot_tot	-,380	,762	-,325	,183	,056	-,107	-,081	-,055
evo_pop	-,347	,763	-,366	,192	,021	-,085	,022	-,024
Pct_75pl	,698	-,032	-,502	,087	,232	,136	,233	-,028
Pct_014	-,792	,164	,370	-,027	-,060	-,030	-,080	,014
Pct_fam_3enf	-,471	,074	,467	,104	,483	,009	,464	,064
Pct_fam_mono	,491	,262	,488	,297	-,395	-,120	-,227	-,010
tx_chom	,485	,110	,170	,304	,506	,387	-,440	-,047
FE_faib_rev	,473	,474	,463	,106	,013	,103	,241	-,024
tx_loc	,691	,189	,107	-,241	-,020	-,235	,173	-,497
Pct_imm_rct	,116	,463	,016	-,568	-,263	,569	,089	,136
Pct_aucune_lg	,292	,260	,102	-,637	,393	-,390	-,259	,203
Pct_ndipl	,715	,105	-,046	,248	-,114	-,212	,176	,474

Tableau 25 : Variables (indicateurs) dominantes de chaque composante de l'analyse par composantes

Composante	Variables dominantes	Corrélation	
1	Pourcentage de la population de 75 ans et plus	Pct_75pl	,698
	Pourcentage de la population de 14 ans et moins	Pct_014	-,792
	Taux de location	tx_loc	,691
	Part de la population des 25 ans et plus ne possédant aucun diplôme	Pct_ndipl	,715
2	Nombre d'habitants (Total de la population par AD)	Pot_tot	,762
	Évolution de la population en ZI (Population 2006 — Population 2001)	evo_pop	,763
3	Pourcentage de la population de 75 ans et plus	Pct_75pl	-,502
4	Pourcentage d'immigrants récents (depuis 2001)	Pct_imm_rct	-,568
	Part de la population ne comprenant ni le français ni l'anglais	Pct_aucune_lg	-,637
5	Pourcentage de demandeurs d'emploi (taux de chômage)	tx_chom	,506
6	Pourcentage d'immigrants récents (depuis 2001)	Pct_imm_rct	,569
7	Pourcentage de familles avec 3 enfants et plus	Pct_fam_3enf	,464
	Pourcentage de demandeurs d'emploi (taux de chômage)	tx_chom	-,440
8	Taux de location	tx_loc	-,497
	Part de la population des 25 ans et plus ne possédant aucun diplôme	Pct_ndipl	,474

Les variables *Familles monoparentales* et *Fréquence du faible revenu des familles après impôt* n'ont pas été retenues suite à l'analyse en composantes principales.

Enfin, les valeurs obtenues de chaque composante sont additionnées pour chaque aire de diffusion et cartographiées. En intégrant l'ISS pour chaque aire de diffusion, il est donc possible d'avoir une représentation de la sensibilité sociétale de l'arrondissement de Beauport (fig. 42).

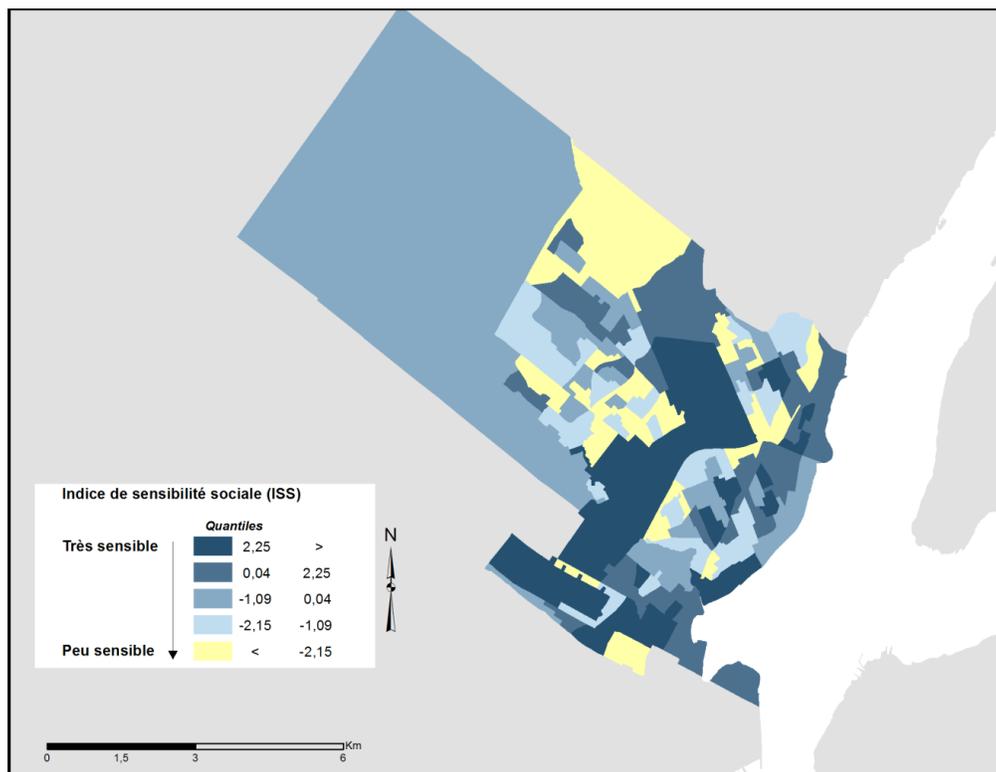


Figure 42 : Carte de l'indice de sensibilité sociale de l'arrondissement de Beauport par aires de diffusion selon les données du recensement de 2006 de Statistique Canada  
Source : Chanthamala, Annexe A.3, p. 11.

La distribution de la sensibilité sociale sur le territoire de l'arrondissement montre que la population située dans le centre est plus sensible que celle située au nord de l'arrondissement, par exemple. Cela porte aussi à démontrer qu'une proportion plus importante de population sensible est située dans les secteurs centre et sud. Ces populations sont les personnes âgées, les jeunes enfants et les immigrants récents. Rappelons que la population sensible est celle qui demande une attention particulière dans le cas de crise (Thomas-Maret *et al.*, sous publication). La faible ou la perte de mobilité, la compréhension du français et/ou de l'anglais ou encore des soins ou des besoins spéciaux augmentent la sensibilité des populations. En superposant cette carte à celle de la sensibilité territoriale, il sera possible d'avoir la carte de sensibilité globale du territoire.

### 5.4.3. Sensibilité territoriale

Une des premières limites rencontrées pour l'analyse de la sensibilité territoriale est la construction et la cartographie des différentes composantes. En effet, pour plusieurs données, il a fallu géoréférencer la localisation de chaque bâtiment, comme pour les Centres locaux de services communautaires (CLSC), les écoles, les postes de police, les casernes de pompier et même les commerces. Une base de données exhaustive a donc été créée et la figure 43 démontre la répartition de différentes composantes. Pour certaines données qui étaient quantifiées et disponibles dans les données du recensement 2006 de Statistiques Canada,

nous avons procédé par une superposition de celles-ci par aires de diffusion. Cette manipulation a été faite notamment pour le nombre de logements et de bâtiments mais plusieurs indicateurs sont présentés de façon ponctuelle sur le territoire de l'arrondissement.

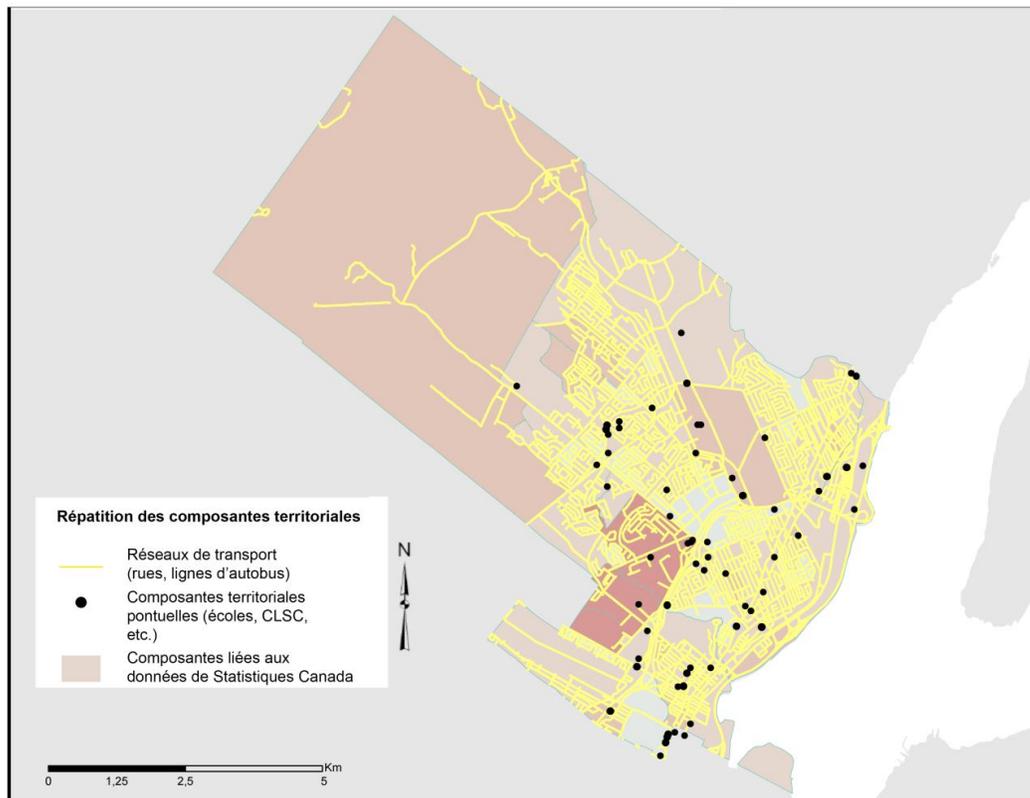


Figure 43 : Carte de l'arrondissement de Beauport avec la distribution des composantes territoriales par compilation des données de recensement de Statistique Canada, des données de la Base nationale de données topographiques (BNDT) et des informations des agences gouvernementales et municipales et par la cueillette de données sur le terrain

Source : Chanthamala, Annexe A.3, p. 12

Une fois les composantes cartographiées, une matrice avec des parcelles de 400 m de large leur est superposée afin de réaliser la synthèse de la vulnérabilité territoriale (annexe A.3, fig.5). Les parcelles représentent une superficie de 80 000 m<sup>2</sup> (ou 8 ha) qui est plus grande que celle déterminée par Thomas-Maret et al (en cours de publication). Cette superficie a été ajustée à la hausse pour l'arrondissement de Beauport car la densité sur le territoire est plus faible, il est possible de faire une agrégation des infrastructures sur une superficie plus grande sans compromettre la précision de la sensibilité.

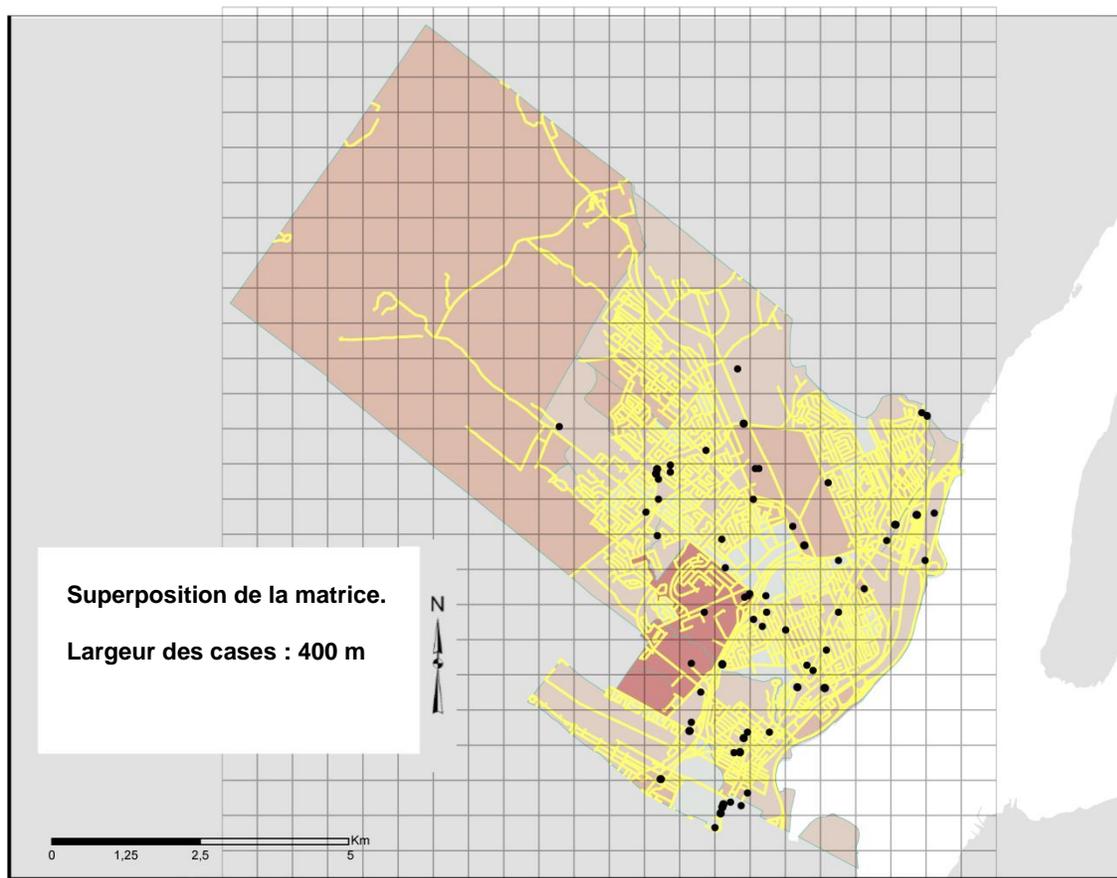


Figure 44 : Superposition de la matrice avec des parcelles de 400 m de large  
Source : Chanthamala, Annexe A.3, p. 13

Pour chaque parcelle, une agrégation de toutes les composantes présentes dans celle-ci est réalisée. Ainsi, le cumulatif pour chaque parcelle détermine son niveau de sensibilité territoriale. Les différents cumulatifs obtenus sont divisés en cinq classes de distribution pour faciliter la représentation (fig. 45).

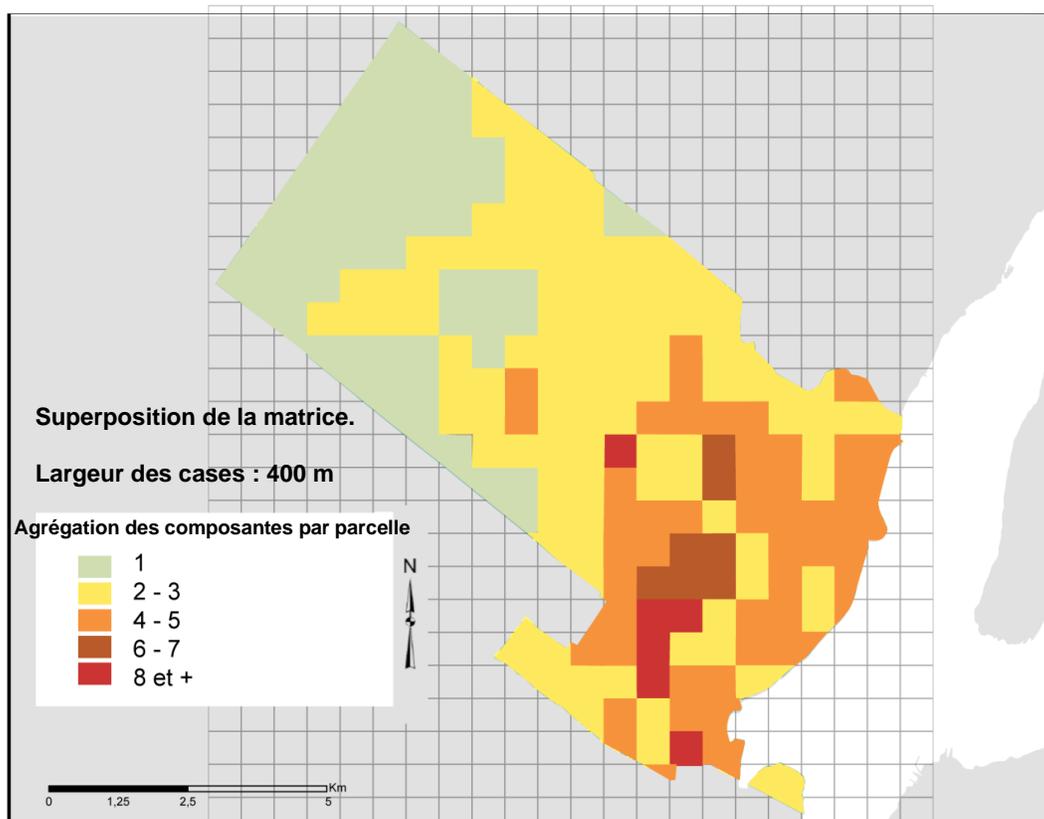


Figure 45: Carte synthèse de la sensibilité territoriale pour l'arrondissement de Beauport par agrégation des composantes pour chaque parcelle de 400 m de largeur  
Source : Chanthamala. Annexe A.3, p. 14

Cette carte montre que la sensibilité territoriale présente une distribution relativement semblable à la sensibilité sociétale. Les secteurs au sud comportent des composantes territoriales plus sensibles aux aléas. En d'autres termes, si un évènement majeur a lieu dans ces secteurs, le bon fonctionnement de l'arrondissement sera perturbé. Il est important de mentionner qu'il est possible de déterminer un indice de sensibilité territoriale (IST) selon la méthodologie proposée par Thomas-Maret *et al.* (sous publication). La non-disponibilité de certaines données ainsi que la complexité demandée pour établir une base de données exhaustives ne nous pas permis de réaliser cet indice. Il en serait pertinent de le réaliser dans une seconde phase du projet de recherche.

En croisant la sensibilité sociétale et la sensibilité territoriale, il est possible de déterminer la sensibilité globale du territoire face à un aléa. Sur la figure 46, les zones les plus sensibles sont indiquées en rouge. En superposant cette carte à la carte d'un aléa spécifique (refoulements d'égout ou îlots de chaleur), il est possible de considérer les mesures d'adaptation à entreprendre, de même que les zones à prioriser. La figure 47 représente par exemple la superposition de la carte de sensibilité globale avec la carte des îlots de chaleurs. La superposition permet de mettre en évidence trois zones d'intervention à prioriser car celles-ci présentent une population et des infrastructures plus sensibles tout en étant des sites

plus à risques. Lorsqu'on y amalgame la carte des orientations de planification urbaine pour le secteur d'étude, les zones prioritaires d'intervention se réduisent à deux zones seulement. L'utilisation de cette méthode avec la carte des refoulements d'égout permettrait de cibler les zones d'implantation prioritaires des PGOSV.

Un meilleur arrimage entre les projets aurait permis de développer une méthode afin de cartographier les adaptations ce qui aurait permis d'obtenir un portrait de la vulnérabilité du secteur avant et après l'ajout PGOSV. Ainsi, on aurait pu évaluer la réduction de vulnérabilité liée à l'adoption de ces pratiques.

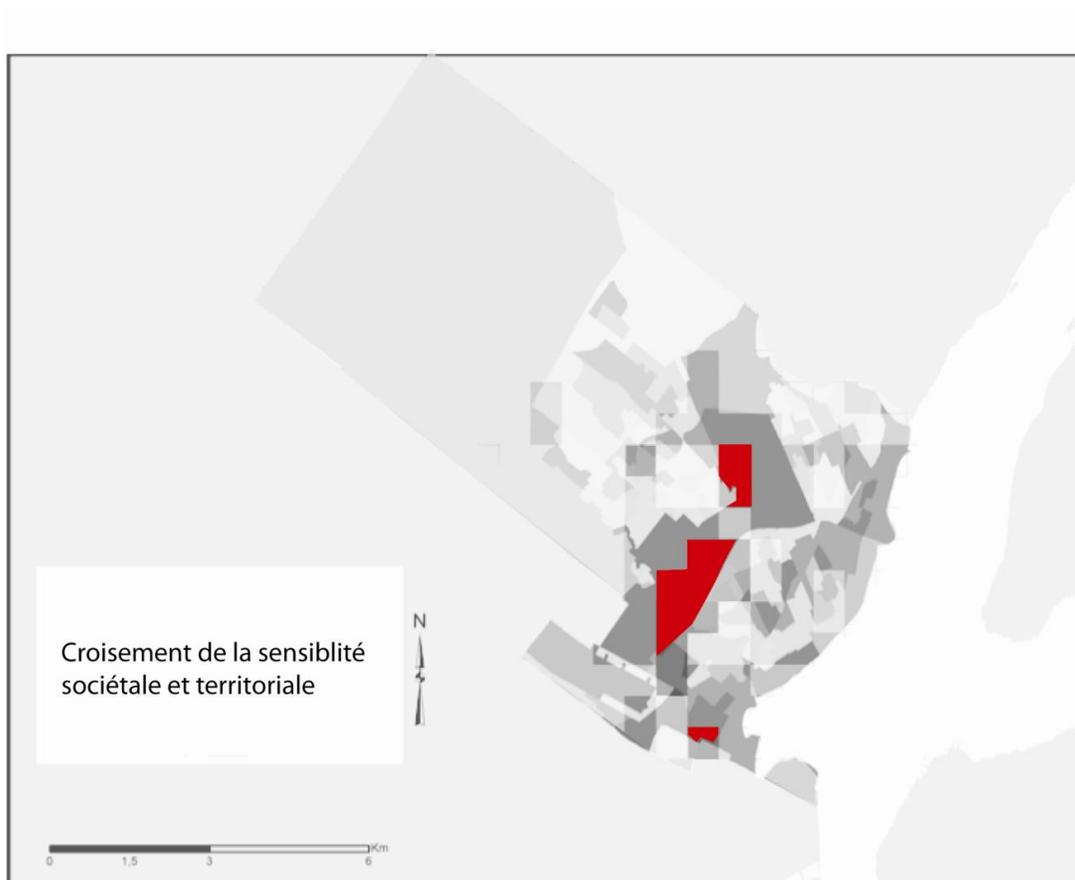


Figure 46 : Carte de la sensibilité de l'arrondissement de Beauport par superposition des cartes de sensibilités sociale et territoriale et identification des zones plus sensibles  
Source : Chanthamala. Annexe A.3, p. 15.

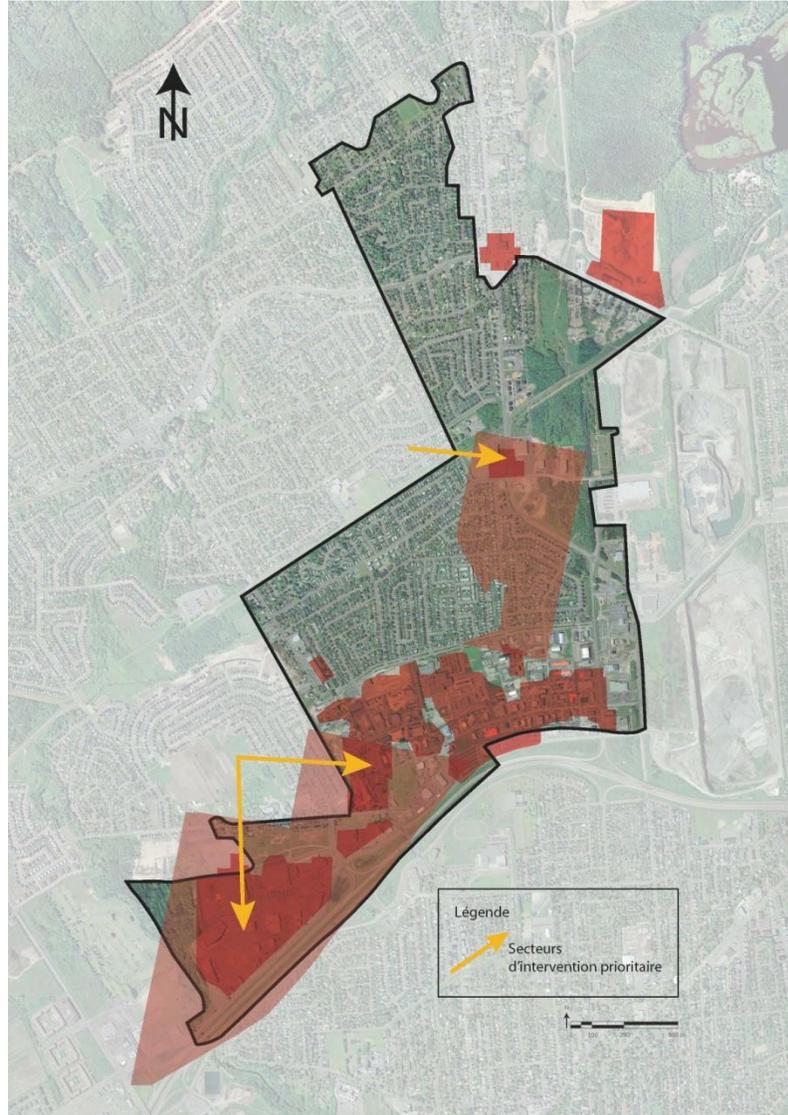


Figure 47 : Superposition de la sensibilité globale et des îlots de chaleur pour le secteur d'étude.  
Superposition des cartes: Lucile Besson.

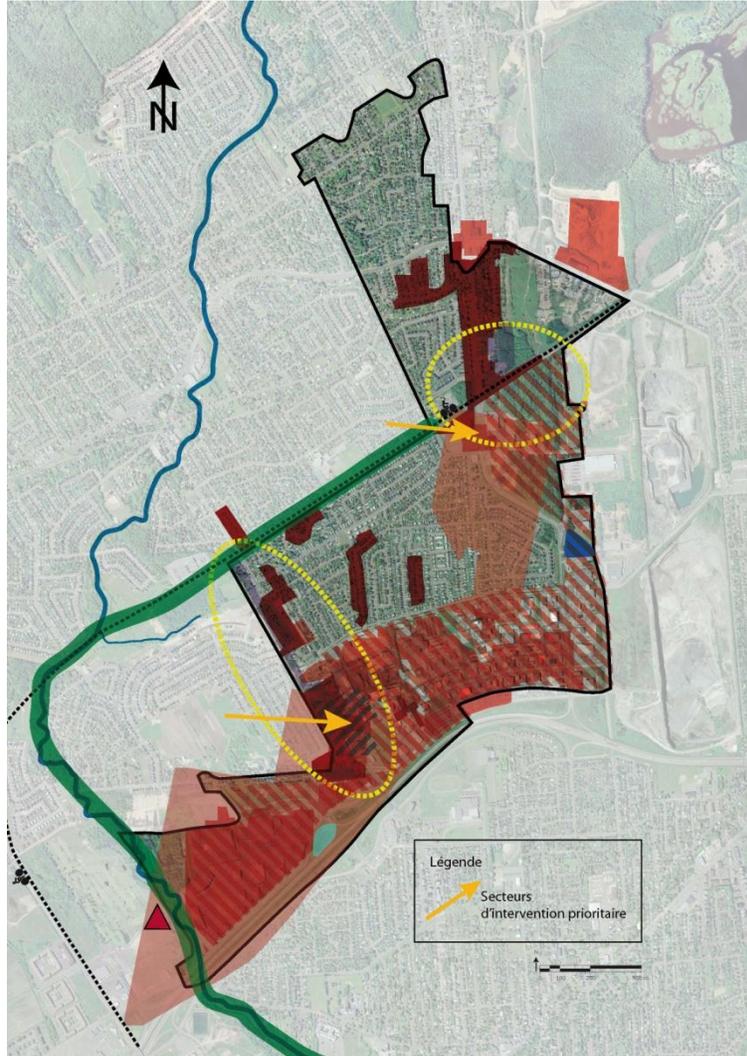


Figure 48 : Superposition des îlots de chaleur, de la sensibilité globale et des orientations de planification urbaine pour le secteur d'étude (ovales jaunes en pointillé)  
 Superposition des cartes : Lucile Besson.

### 5.5. Prise en compte des préoccupations liées à la qualité du cadre de vie

Sur la base de la méthode retenue mentionnée préalablement (section 4.5), les différentes orientations de planification extraites du Schéma d'Aménagement de la Communauté Urbaine de Québec (CUQ) et du plan directeur d'aménagement et de développement (PDAD) ainsi que de différents documents complémentaires (Ville de Québec, 2012; 2010a,b; 2005a,b), ont été cartographiées (fig. 49). Elles révèlent l'organisation territoriale actuelle et les enjeux du site d'étude.

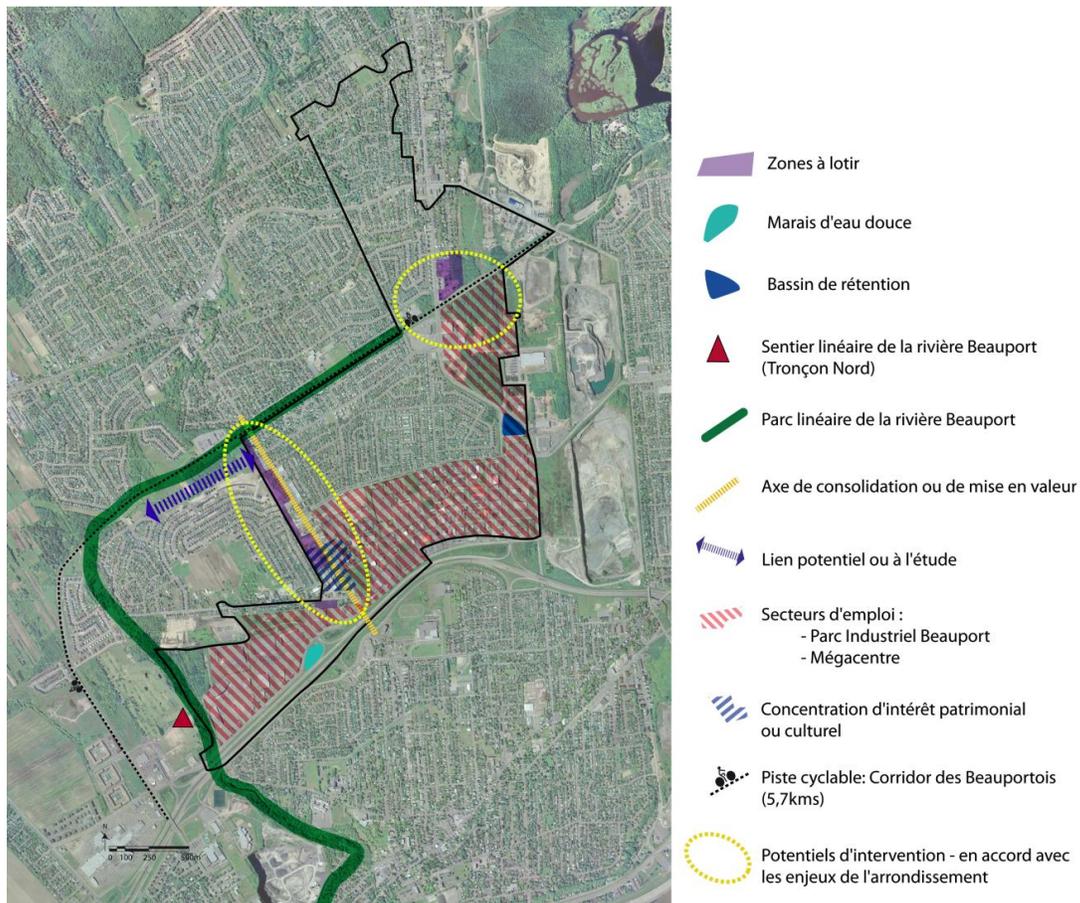


Figure 49 : Cartographie des orientations de planification urbaine pour le secteur d'étude  
 Source : Google Maps, adapté par L. Besson, 2011

D'un point de vue de l'occupation du sol, on observe une articulation entre un secteur commercial au sud-ouest, un secteur industriel au centre, et des quartiers principalement résidentiels au Nord (fig. 25). Une visite du terrain d'étude menée en automne 2011 a permis de préciser que les typologies d'habitat résidentiel sont variées (fig. 50). Secteurs de maisons mobiles, habitat individuel et habitat semi-collectif ponctuent les quartiers (fig. 51).



Figure 50 : Typologies d'habitat individuel  
Source : CPEUM, 2011



Figure 51 : Habitat semi-collectif et habitat mobile  
Source : CPEUM, 2011

Le réseau de communication est marqué principalement par l'autoroute 40 en bordure sud du site, ainsi que par la Rue Seigneuriale, qui lie les secteurs résidentiels aux secteurs commerciaux et à l'autoroute. Cette rue historique, marquante en raison de ses discontinuités physiques, et traversant un secteur d'intérêt patrimonial ou culturel suscite l'intérêt des planificateurs dans les programmes d'urbanisme du quartier. L'hétérogénéité des typologies urbaines, l'alternance des activités (commerces, services, tertiaires) et la présence de friches lui confèrent aujourd'hui un caractère déstructuré qu'il convient de requalifier. De plus, des projets de développement résidentiel sont en cours ou devraient voir le jour en bordure ouest de cet axe. Sachant que l'implantation de PGOSV est facilitée sur les secteurs encore non construits, cette portion du site présente donc de multiples opportunités d'interventions. De fait, la consolidation de l'avenue Seigneuriale fait partie des enjeux majeurs du secteur. L'implantation de PGOSV autour de cet axe pourrait permettre une valorisation esthétique de la chaussée et de ses abords ainsi que la création de repères visuels. De plus, des interventions intégrées de gestion des eaux pluviales pourraient y être proposées puisque la rue Seigneuriale se présente comme une épine dorsale entre des secteurs résidentiels, industriels et commerciaux. Des opérations de verdissement permettraient donc de rétablir le caractère structurant et identitaire du secteur, tout en améliorant la lisibilité et la sécurité de l'axe. Ces enjeux vont dans le sens d'une amélioration du cadre de vie.

Il est possible d'identifier une seconde zone d'intérêt au nord-est du site d'étude. Celle-ci se trouve à l'intersection de secteurs d'emploi, d'une zone commerciale, d'une école, ainsi que de quartiers résidentiels, dont une large parcelle destinée à de futurs développements. Ce secteur retient donc lui aussi notre attention pour l'implantation de PGOSV. Ce choix est conforté par la proximité du Parc linéaire de Beauport, aménagé autour d'une piste cyclable. Celui-ci, support de mobilité pour la population, traverse la zone d'intervention jugée prioritaire. Les questions liées à l'amélioration du cadre de vie par une gestion durable des eaux pluviales sont donc d'autant plus pertinentes aux abords de cette voie de communication piétonne et cycliste. Des interventions ont déjà pris place aux abords de la piste cyclable. Il semble donc intéressant d'arrimer les réalisations passées avec de nouvelles opportunités. Ce second secteur identifié pour l'implantation d'infrastructures végétalisées pourrait de plus profiter des projets de nouveaux développements pour jumeler les interventions.

Il est important de préciser que ces observations comportent certaines limites, notamment les imprécisions quant à l'avancement des chantiers de construction dans les secteurs zonés « à lotir ». Ces chantiers à venir pourraient constituer des occasions d'implantation de PGOSV. En revanche, il est encourageant de souhaiter arrimer les interventions de gestion des eaux pluviales aux orientations fixées dans les documents d'urbanisme, afin que les aménagements de demain génèrent une plus grande variété de bénéfices (environnementaux, économiques, mais aussi sociaux). En effet, la santé de la population, leur sécurité et l'amélioration de leur cadre de vie en général découlent directement d'actions de planification urbaine concertées.

#### **5.6. Développement d'un outil d'aide à la décision pour l'implantation de PGOSV à l'échelle du quartier ou de la ville. Outil préliminaire et résultats de l'atelier du 27 janvier 2012.**

Un premier outil d'implantation a été développé en tenant compte des résultats des études de cas et du processus d'implantation maximale de PGOSV sur trois sites présentant des utilisations du sol différentes dans l'arrondissement de Beauport de la ville de Québec. Trois aspects ont été considérés dans cet outil : les aspects techniques, soit le choix des PGOSV et des secteurs ou zones d'implantation, l'amélioration du cadre de vie et la réduction des sensibilités territoriales et populationnelles.

L'outil d'implantation est illustré à la figure 52. La première étape consiste à exclure des secteurs où l'implantation des PGOSV n'est pas recommandée.

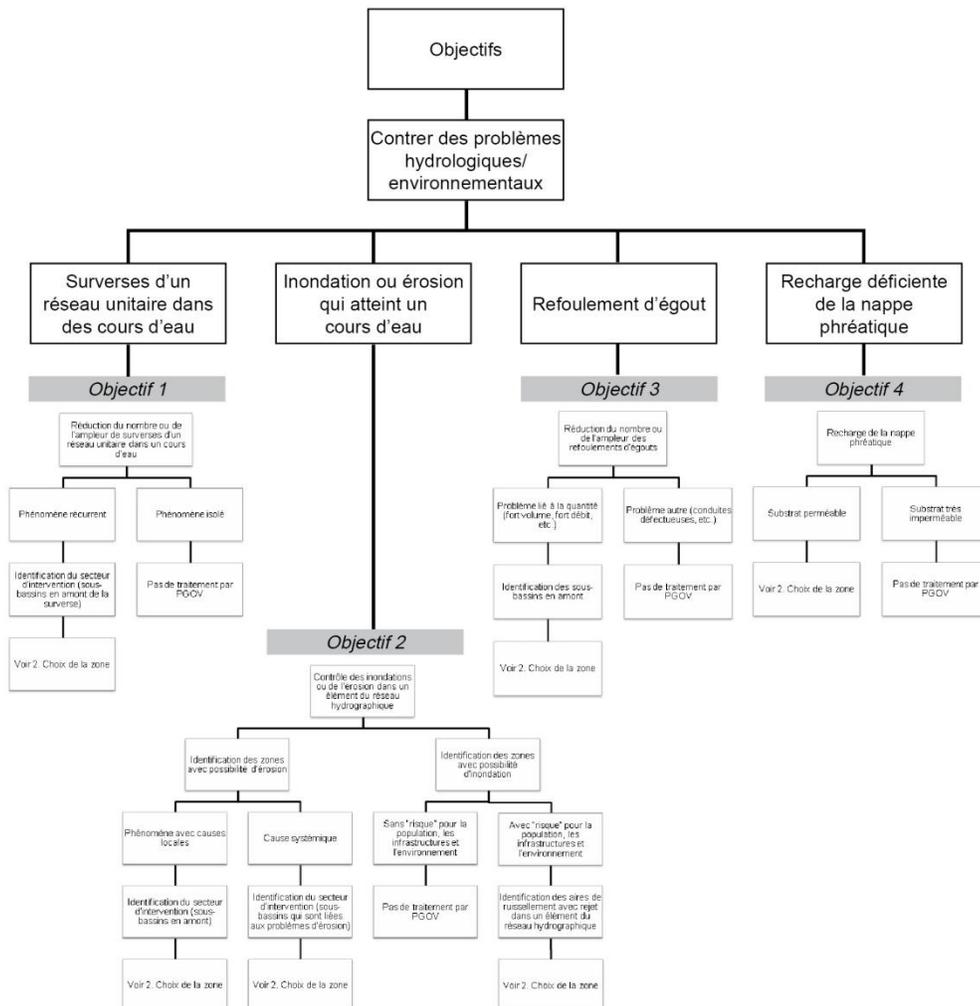
### 1.a. Contraintes techniques

Secteurs de non-interventions:

- Sources d'eaux de ruissellement contaminées
  - Zones d'alimentation, d'entretien ou de démolition des véhicules
  - Zones d'entreposage ou de manipulation de matériel dangereux
  - Certains sites d'industrie lourdes (TRCA, 2010)
- Zone naturelle d'intérêt / boisés (TRCA 2010)
- Bandes riveraines (zone de 20m à partir de la ligne des hautes eaux (Ville de Québec, 2007))
- Nappe phréatique ( $\leq 3.2m$  (TRCA, 2010))
- Pente  $\leq 5\%$  (MDDEP, 2011)

### 1.b. Objectifs de l'intervention

Déterminent le secteur d'intervention selon les objectifs de l'intervention

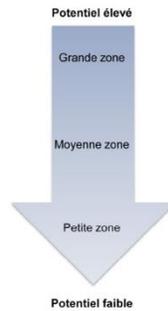


## 2. Choix de la zone d'intervention

Amélioration et adaptation du cadre de vie		Potentiel de réduction du volume d'eaux de ruissellement	
Critère	Identification des secteurs/zones/sites	Points	Description
Sensibilité territoriale	Identification des hôpitaux, écoles, garderies, infrastructures sensibles etc.	3	Réduction possible de la surface imperméable au sol $\geq 5\%$ (ex: stationnement ou voirie surdimensionnés)
Sensibilité sociétale	Identification des populations sensibles (personnes âgées, jeunes enfants etc.), Cartographie des indices de sensibilité sociétale.	2	Réduction possible de la surface imperméable au sol $< 5\%$
Qualité de l'air + îlots de chaleur	Identification des secteurs à risque	1	Présence de toits plats ou à faible pente pouvant supporter des toits verts
Sécurité routière	Identification des secteurs à risque	0	Réduction de la surface imperméable au sol impossible + impossibilité d'installer des toits verts
Valorisation des corridors de déplacement	Identification des pistes cyclables, rues au mobilier déficient, etc.		
Information+ éducation de la population	Identification des espaces publics, espaces achalandés, espaces institutionnels, etc.		

\*Pointages préliminaires établis afin de refléter le potentiel relatif de diverses situations. À discuter.

Le potentiel de réduction du volume d'eaux de ruissellement est fonction de la superficie de la zone



Facilité d'implantation



## 3. Choix des PGOS

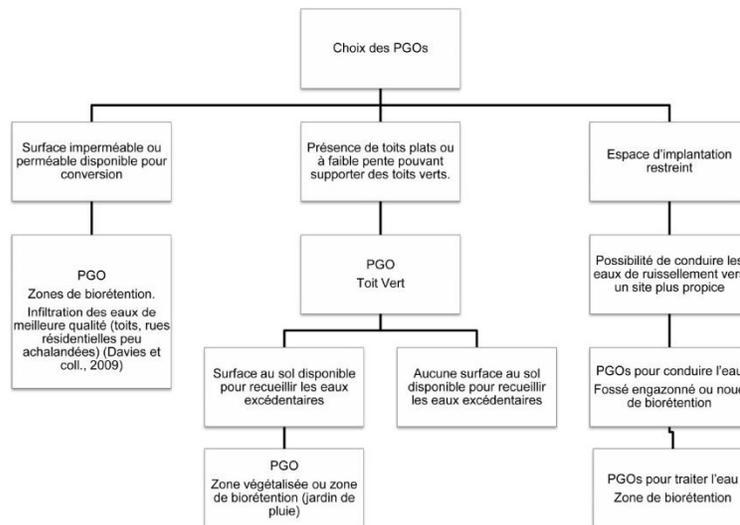


Figure 52: Arborescence d'aide à l'implantation des PGOSV à l'échelle d'un quartier ou d'une ville tel que présenté à l'atelier du 27 janvier 2012.

*Note : PGO= PGOSV.*

Les critères généraux d'exclusion de secteurs ou de sites pour l'implantation des PGOSV retenus par l'équipe de recherche sont tirés des principes du LID, des guides et manuels:

- Zones naturelles d'intérêt, boisés (TRCA/CVCA, 2010).
- Bandes riveraines (ex: dans la ville de Québec, 20 m à partir de la ligne des hautes eaux, (Ville de Québec, 2007))
- Nappe phréatique la plus haute à plus de 1,2 m de profondeur du dessous de la PGOSV la plus profonde soit la zone de biorétention. Cette PGOSV présente une profondeur d'environ 2 m à partir de la surface du sol (voir TRCA/CVCA, 2010, p. 4-77). Le niveau le plus haut de la nappe phréatique doit donc se situer à plus de 3,2 m de la surface du sol (MDDEP, 2011; TRCA/CVCA, 2010).
- Sources d'eaux de ruissellement très contaminées :
  - zones d'alimentation, d'entretien ou de démolition de véhicules
  - zones d'entreposage ou de manipulation de matériel dangereux
  - certains sites d'industries lourdes (t.d.a, TRCA/CVCA, 2010, 4-5)

Ces sources exigent des PGOV de traitement de plus large envergure appelés contrôles à la sortie de l'émissaire ou systèmes de fin de chaîne de traitement: marais filtrants, bassins de retenue permanente, systèmes hybrides bassins/marais (MDDEP, 2011; TRCA/CVCA, 2010).

- Terrain fortement accidenté, zone de ravinement. Idéalement : pente <5% (MDDEP, 2011)

Des cartes ont été créées lorsque possible afin de représenter ces zones à exclure pour les participants à l'atelier. Or certaines données ou cartes nécessaires à l'établissement de ces cartes manquaient : la profondeur de la nappe phréatique, les sources potentielles d'eaux de ruissellement fortement contaminées et des cartes représentant la topographie actuelle du site c'est-à-dire la topographie remaniée pour les besoins de l'urbanisation. L'absence de ces données nous avait d'ailleurs forcés à émettre une série d'hypothèses à leur sujet au moment des simulations ou à s'en remettre aux notes de la visite de terrain (terrain fortement accidenté) ou à Google Map (stations services, source d'eaux de ruissellement contaminées) (fig. 53).

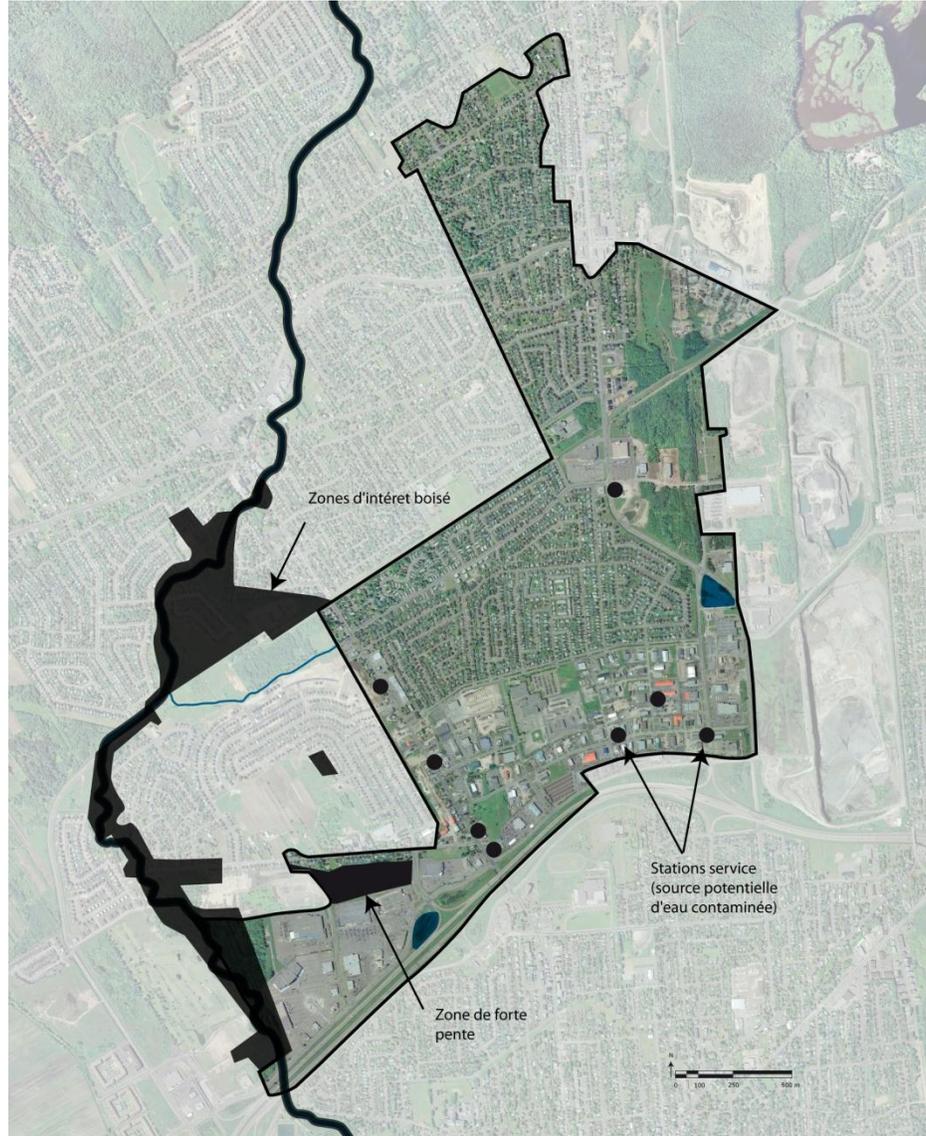
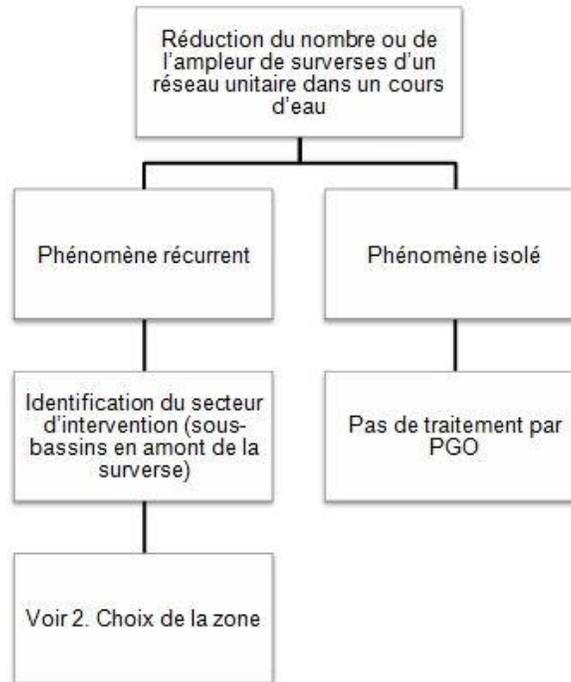


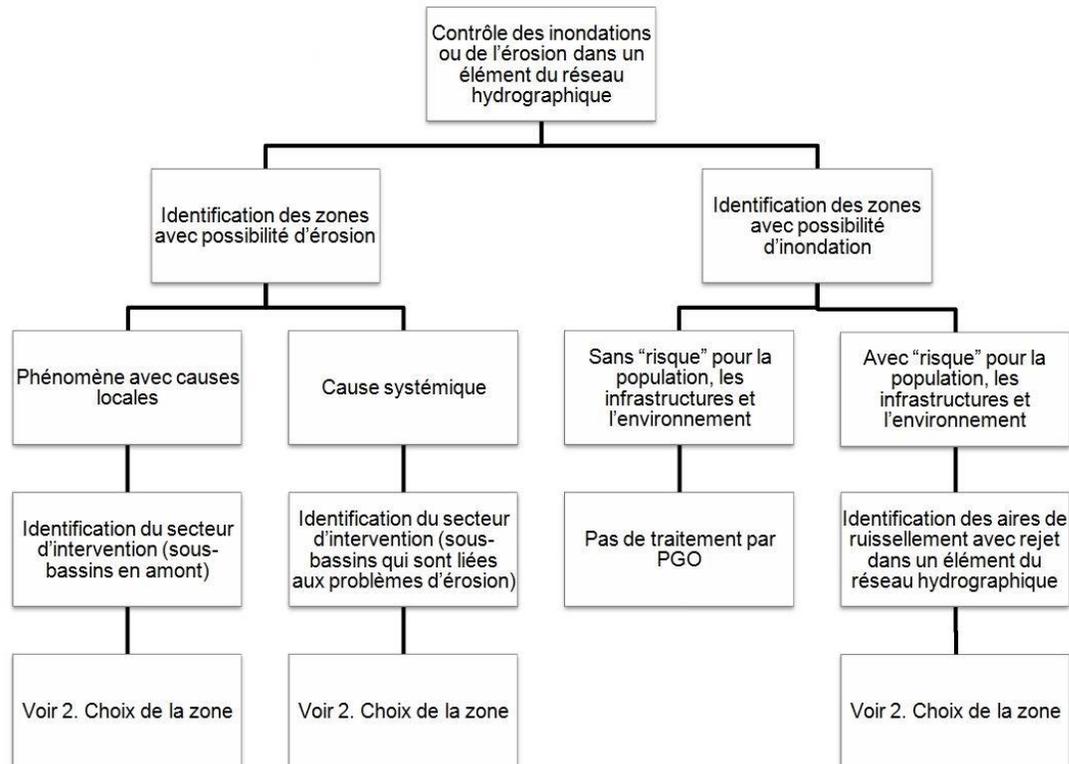
Figure.53 : Carte des zones exclues du processus d'implantation.  
Source : Google Maps, retouchée par A. Spector ; L. Besson. Étape 1.

Par la suite, lors de l'étape 2, quatre arbres de décision différents ont été proposés aux participants selon quatre objectifs d'implantation des PGOSV (fig. 54) lors de l'étape 2. Ces arbres de décision devaient permettre de décider de zones d'implantation dans des secteurs appropriés après application des critères d'exclusion.

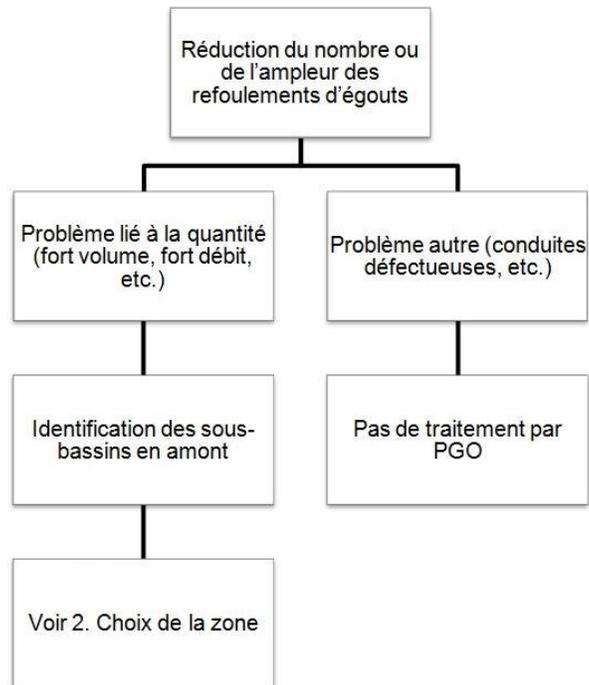
## Objectif 1



## Objectif 2



### Objectif 3



### Objectif 4

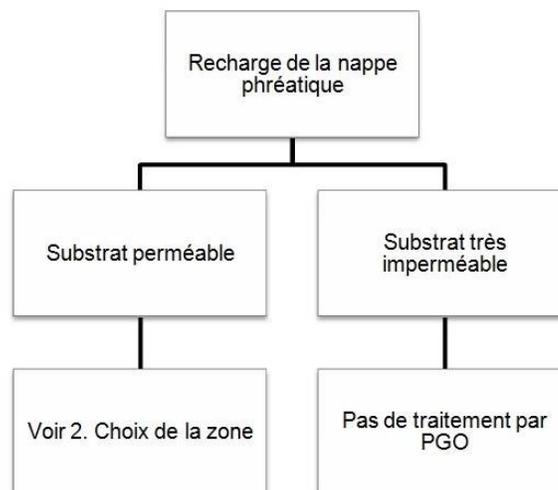


Figure 54: Arborescences de décision selon les 4 objectifs d'implantation des PGOSV telle que présentée à l'atelier du 27 janvier 2012.

Ces objectifs étaient tous d'ordres hydrologiques et environnementaux. En effet, suite à des essais préliminaires et selon l'étude de Fryd et coll. (2010), il était préférable de prendre en compte les autres facteurs, soit les facteurs sociaux, plus tard dans le processus de décision soit au moment de prioriser des zones d'interventions.

Les quatre objectifs étaient les suivants :

1. Réduction du nombre ou de l'ampleur de débordements (surverses) d'un réseau unitaire dans un cours d'eau
2. Contrôle des débordements (appelés à tort inondations) ou de l'érosion dans un élément du réseau hydrographique
3. Réduction du nombre ou de l'ampleur des refoulements d'égouts
4. Recharge de la nappe phréatique.

Ces objectifs représentaient des problèmes suffisamment différents pour mettre à l'épreuve les arbres de décision proposés.

Les arbres de décision liés à chaque objectif sont illustrés dans la figure 54. Chacun de ces arbres permettait d'identifier des zones d'intervention à l'intérieur d'un secteur choisi pour les besoins de l'atelier. Ces zones étaient soit les sources du problème que l'on tentait de régler (ex : sous-bassins responsables de l'érosion d'une portion d'un cours d'eau) soit présentaient des caractéristiques favorables à cette résolution (zones de sols perméables pour l'infiltration). Par ailleurs, il est apparu que la perméabilité des sols constituait une autre donnée manquante pour le territoire à l'étude.

Lorsque plusieurs zones d'intervention potentielle étaient identifiées et qu'il fallait opérer un choix entre ces zones, ce choix s'effectuait en fonction des critères suivants lors de l'étape 3

- le potentiel d'amélioration du cadre de vie (incluant au moment de l'atelier la réduction des vulnérabilités)
- le potentiel de réduction du volume d'eaux de ruissellement (importance de la superficie des zones imperméables)
- la facilité d'implantation (type de propriétaire; superficie des propriétés; nombre de propriétaires) (Fryd et coll., 2010)

On peut constater que la qualité initiale des eaux de ruissellement est prise en compte à deux étapes du processus :

1. en début de processus au moment d'éliminer certains secteurs, zones ou sites (étape 1)
2. au moment de choisir ou non des systèmes d'infiltration complète (étape 4).

Chacun des critères utilisés lors de l'étape 3 incluent plusieurs sous-critères permettant de raffiner le choix des zones d'intervention (fig. 55). Ainsi le critère amélioration du cadre de vie/réduction de la vulnérabilité suppose-t-il que les zones sensibles aient été identifiées, de même les zones présentant des problèmes d'îlots de chaleur et donc de qualité de l'air, les zones à fort taux d'accidents de la route, les corridors de circulation de même que les zones de rassemblement ou de passage où des interventions éducatives auraient un fort impact. Dans le cadre du potentiel de réduction des volumes, un pointage préliminaire avait été établi selon la possibilité de convertir des zones imperméables en zones perméables afin de refléter le potentiel relatif de diverses situations aux fins de discussion. Ce pointage n'a pas été utilisé et par conséquent n'a pas été validé lors de l'atelier.

#### **Amélioration et adaptation du cadre de vie**

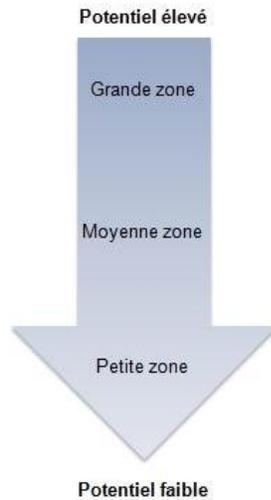
Critère	Identification des secteurs/zones/sites
Sensibilité territoriale	Identification des hôpitaux, écoles, garderies, infrastructures sensibles etc.
Sensibilité sociétale	Identification des populations sensibles (personnes âgés, jeunes enfants etc.). Cartographie des indices de sensibilité sociétale.
Qualité de l'air + îlots de chaleur	Identification des secteurs à risque
Sécurité routière	Identification des secteurs à risque
Valorisation des corridors de déplacement	Identification des pistes cyclables, rues au mobilier déficient, etc.
Information+ éducation de la population	Identification des espaces publics, espaces achalandés, espaces institutionnels, etc.

#### **Potentiel de réduction du volume d'eaux de ruissellement**

Points	Description
3	Réduction possible de la surface imperméable au sol $\geq 5\%$ (ex: stationnement ou voirie surdimensionnés)
2	Réduction possible de la surface imperméable au sol $< 5\%$
1	Présence de toits plats ou à faible pente pouvant supporter des toits verts
0	Réduction de la surface imperméable au sol impossible + impossibilité d'installer des toits verts

\*Pointages préliminaires établis afin de refléter le potentiel relatif de diverses situations. À discuter.

Le **potentiel de réduction** du volume d'eaux de ruissellement est fonction de la superficie de la zone



**Facilité d'implantation**

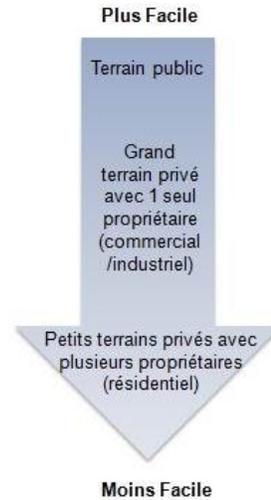


Figure 55 : Critères de choix de la zone d'intervention. Étape 3.

Une fois la ou les zones d'intervention choisies, l'arborescence de choix de PGOSV était partagée par tous les groupes (fig. 56). Quatre critères étaient en jeu : la qualité de l'eau et la perméabilité des surfaces (biorétention avec ou sans infiltration complète), la présence de toits plats (avec ou sans infiltration de l'effluent dans une zone de biorétention) et l'espace disponible (redirection de l'eau vers une zone présentant plus d'espace avec ou sans toits verts).

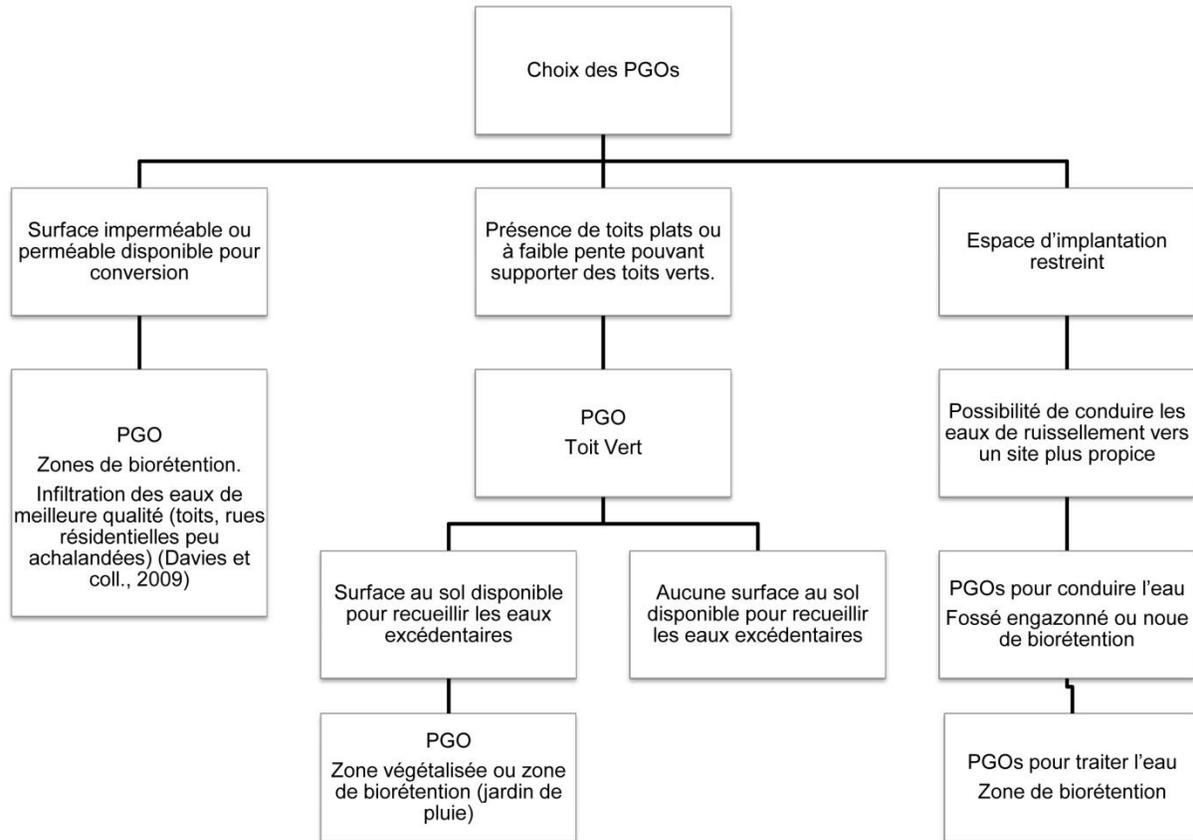


Figure 56 : Arborescence de décision pour le choix des PGOSV telle que présentée lors de l'atelier du 27 janvier 2012.

### 5.6.1. Résultats de l'Atelier

L'atelier a généré des résultats à plusieurs niveaux.

**1. Au sujet des données.** Outre les données déjà disponibles ou identifiées comme manquantes par l'équipe, d'autres données ont été jugées nécessaires au choix des sites d'implantation soit:

- L'utilisation antérieure des sites afin d'éliminer les zones pouvant générer des eaux de ruissellement très polluées (zones d'enfouissement, terrains contaminés).
- Le sens d'écoulement des eaux ce qui implique de disposer d'une topographie précise des lieux. L'importance d'une information plus précise sur la topographie avait déjà soulevée par l'équipe de recherche mais pas dans la même perspective.
- L'identification des terrains publics car d'une part l'implantation des PGOSV y est plus facile et car, d'autre part, ces derniers peuvent être alors conçus de façon à en accroître les avantages collatéraux (augmentation de la sécurité routière, ajout de piste cyclable, réduction d'îlots de chaleur etc.). Ceci avait été envisagé par l'équipe de recherche suite à la revue de littérature (Fryd et coll., 2010) mais abandonné par absence de données à ce sujet. Il faudra réintégrer cette information dans l'outil.
- Les réseaux de drainage (majeur et mineur) existants et leur état.
- Les données sur le sous-sol et les sous-bassins de drainage doivent aussi être représentées. i.e. sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec, il y a des zones karstiques.

Par ailleurs le problème d'accessibilité des données et d'échange des données entre services municipaux, ministères et agences fédérales etc (par exemple : prélèvement de sol, localisation et profondeur des eaux souterraines etc. dans des bases de données) a été soulevé. Les inondations relevant d'une autre problématique, les participants ont proposé de ne pas en tenir compte dans l'outil.

Il est intéressant de noter que ces éléments relevés par les participants ne sont pas mentionnés dans les guides consultés ni dans les études recensées en relation avec l'implantation des PGOSV ce qui confirme la pertinence de la tenue de cet atelier.

Liste révisée des cartes ou couches cartographiques nécessaires à l'implantation des PGOSV à l'échelle du quartier :

- Carte des zones naturelles d'intérêt, boisés (TRCA/CVCA, 2010).
- Carte des nappes phréatiques, de leur profondeur, avec indications des nappes à recharger

- Carte des utilisations du sol actuelles et passées avec identification des sites pouvant générer des eaux de ruissellement très contaminées
- Carte topographique exacte pour déterminer le sens d'écoulement des eaux et identifier les terrains trop pentus pour l'implantation des PGSOV. Le terme pente devrait être défini car des expressions telles que pente de 5% peuvent être sujettes à interprétation selon les participants
- Carte des zones problématiques en regard des objectifs poursuivis : refoulements, débordements (surverses), érosion ou nappes à recharger.
- Carte des sous-bassins du réseau de drainage avec identification des sous-bassins responsables des problèmes relevés dans les zones problématiques.
- Carte des terrains publics. Ces derniers offrent une plus grande facilité d'implantation des PGOSV et davantage de possibilités d'information et d'éducation de la population.
- Carte des sensibilités territoriale et sociétale. En fait plusieurs données sont nécessaires à l'établissement de ces cartes. Voir section 5.3.
- Carte des îlots de chaleur. Cette carte peut aussi permettre de repérer les zones imperméabilisées de grande dimension donc générant de forts volumes d'eaux de ruissellement.
- Carte des zones fortement imperméabilisées avec marquage des possibilités de désimperméabilisation.
- Carte Google Map permettant d'évaluer la présence de toits plats.
- Carte des secteurs à risque pour la sécurité routière notamment des piétons.
- Carte des corridors de déplacement à valoriser.
- Carte des groupes hydrologiques de sol ou sinon au moins carte des textures de sol.
- Carte des orientations de planification urbaine et localisation des secteurs de requalification ciblés par l'arrondissement.
- Carte des travaux d'infrastructure prévus dans les rues ou sur les terrains publics afin de combiner ceux-ci avec l'implantation de PGOSV. Cet aspect n'a pas été soulevé lors de l'atelier mais a été ajouté par l'équipe par la suite.

**2. Au niveau de l'échelle d'analyse et de planification.** L'analyse du bassin versant dans sa globalité, avec une étude de l'amont mais aussi de l'aval (capacité d'absorption/infiltration et de stockage) permettrait d'avoir une planification plus globale de l'implantation des PGOSV. Cette remarque est appuyée par plusieurs études montrant l'importance d'une planification à cette échelle (DeBusk et coll., 2010 ; Roy et coll., 2008 ; Carter et Jackson, 2007 ; Goff et Gentry, 2006).

**3. Au niveau de l'élargissement du cadre d'implantation.** En effet, l'atelier a clairement fait ressortir l'importance de la prise en compte de plusieurs dimensions dans l'implantation à grande échelle des PGOSV. Il est intéressant de noter que les propositions spontanées des participants rejoignent les constats des études de cas.

- Accompagner l'implantation de mesure de sensibilisation, d'éducation ainsi de mesures incitatives.
- Considérer les dimensions politique, réglementaire et économique.
  - Un certain nombre de questions ont émergé au sujet du type de réglementation à mettre en place pour l'implantation des PGOSV.
  - Leur inscription dans le certificat de localisation aussi été proposée. Cette dernière remarque est tout à fait pertinente notamment en regard de l'entretien et n'a jamais fait l'objet d'attention dans les études de cas. Il serait intéressant de vérifier comment cette dimension est prise en considération dans les villes étudiées notamment à Toronto, car cela nous semble un élément essentiel d'assurance de fonctionnement à long terme des PGOSV en terrain privé.
- Prendre en compte le type d'entretien des PGOSV- particulièrement celles implantées dans l'espace public - et considérer les conditions particulières des villes du Québec en hiver (type de déneigement, accumulation de neige, type de déglacage etc.) afin d'être opérationnelles.

Peu de recherches ont été effectuées sur l'effet du type d'entretien des PGOSV en climat froid et leur performance à long terme. Des recherches effectuées en Allemagne sur la performance de systèmes de *Mulden Rigolen* et de noues de biorétention après 5-20 ans d'utilisation ont montré que la performance des systèmes répondait aux normes allemandes en termes d'infiltration et de contamination. Bien que le climat allemand soit moins rigoureux que le nôtre, ces systèmes sont soumis à des cycles de gel-dégel (Ingvertsen et coll., 2010 ; Sommer et coll., 2008).

- La nécessité de préciser la manière dont le cadre d'implantation peut s'intégrer aux outils et applications cartographiques dans les municipalités.
- L'implantation de PGOSV ne doit pas servir de caution à un étalement urbain inconsidéré. Il faut aussi insister en tout temps sur la préservation de zones naturelles.

#### **4. Au niveau de l'outil, du déroulement de l'atelier et du processus d'implantation**

L'outil et le processus de prise de décision qu'il implique ont permis d'en arriver à des propositions d'implantation très concrètes et visant aussi l'amélioration du cadre de vie et la réduction de l'expositions aux aléas. L'outil s'est révélé très utile pour animer les équipes multidisciplinaires mises en place pour l'Atelier. Cependant la prise de décision à l'étape 3 (fig. 55) pourrait être améliorée. Elle semble complexe alors qu'il s'agit en fait de superposer diverses cartes afin d'identifier les secteurs d'intervention prioritaire. Cela devrait être plus

explicite dans l'outil. Par ailleurs certains critères dans cette étape semblent redondants (ex : îlots de chaleur et potentiel de réduction des volumes d'eaux de ruissellement, tous deux tributaires de la dimension des surfaces imperméables). Plus de recherche reste à faire dans ce domaine afin d'en arriver à une plus grande parcimonie de critères. Enfin, outre les zones très prioritaires d'intervention, il conviendrait de pouvoir prioriser l'intervention dans les autres zones afin d'en arriver petit à petit à une implantation des PGOSV sur tout le territoire. La grille d'implantation a été révisée à la suite de l'atelier. Sa version mise à jour est disponible à l'annexe B.6.

Les professionnels se sont montrés ouverts et ont participé de bonne grâce et même avec enthousiasme à l'Atelier.

La multidisciplinarité des équipes leur a permis d'appréhender l'implantation de plusieurs points de vue. Bien que nous n'ayons pas fait d'expérience à ce sujet, il nous a semblé que le travail en équipe disciplinaire aurait sans doute prolongé le processus puisque le partage de points de vue disciplinaires s'opérerait après la consolidation de ces derniers au sein des équipes disciplinaires.

L'équipe de recherche a cependant remarqué que certaines équipes court-circuitaient le processus d'implantation des PGOSV de l'outil à cause de leur connaissance du terrain. Ce phénomène a entraîné la proposition de solutions ne s'inscrivant pas dans le processus mais intervenant plutôt en amont ou en parallèle à celui-ci (ex : vérifier l'état des systèmes de contrôle de débit dans les regards d'égouts). Au final, cependant, il ne nous a pas été possible de vérifier si cette connaissance du terrain avait vicié le processus et produit des solutions fondées sur les à-priori de certains participants ou si elle avait au contraire amélioré l'efficacité du processus.

Il est indispensable que les professionnels soient bien informés et formés avant leur participation à de tels ateliers car il semble que dans certains cas, leur premier réflexe soit de réévaluer les anciens systèmes (les « agrandir » par exemple), même s'ils sont conscients des limites de ces techniques. Peut-être une formule d'atelier en deux temps, une session d'information et une session de travail, donnerait-elle le temps aux professionnels impliqués d'absorber l'information dispensée en introduction.

## **6. Discussion**

Les études de cas ont permis de poser certaines hypothèses quant aux conditions facilitantes pour l'implantation de PGOSV particulièrement en milieu bâti existant. Ces conditions opèrent à diverses échelles et stades d'implantations des PGOSV. Certaines opèrent bien en amont du programme d'implantation des PGOSV et plusieurs découlent d'une approche de gestion par bassin versant.

Ainsi dans le cas où la municipalité ne choisit pas elle-même de réglementer, toute loi ou tout règlement relatif à la qualité des eaux des cours d'eau récepteur imposé par des paliers supérieurs de gouvernement semble avoir un puissant effet déclencheur de la mise en place de politique de gestion des eaux pluviales. Roy et coll. (2008) avaient établi très sommairement les déclencheurs à une liste d'initiatives d'implantations des SUDS à diverses

échelles. Les études de cas effectuées ici, en détaillant et explicitant davantage en quoi peuvent consister ces déclencheurs, vont constituer une information très précieuse pour les décideurs à tous paliers de gouvernement.

Dans le cas des villes déjà constituées, l'articulation d'une politique d'implantation avec d'autres politiques reliées au transport, à la santé etc. accroît la portée de cette dernière. Cela suppose aussi un bon degré de collaboration entre les services municipaux. Cette remarque vaut aussi pour la collaboration de tous les professionnels dont les actions ont un impact sur la gestion de l'eau. Dans le cas d'un nouveau quartier comme Kronsberg, cette collaboration se joue dès la phase de planification du quartier.

Lors de la mise en place à l'échelle d'un site de propriété privée, les villes étudiées semblent avoir toutes adopté une approche mixte de réglementation et d'incitatifs. Il serait intéressant de connaître l'efficacité relative des règlements en place et des incitatifs proposés. Saltzmann et Marriott (2008b) notaient dans une étude avantages-coûts des toits verts que, pour les promoteurs et propriétaires privés, les avantages des toits verts n'en dépassent les coûts qu'après 20 ans d'implantation. Or c'est bien la ville et donc l'ensemble des citoyens qui bénéficie des avantages de l'implantation à grande échelle des toits verts. Cela explique que la ville de Portland subventionne maintenant les propriétaires privés pour la mise en place de toits verts (City of Portland, 2011a).

Un ensemble de bénéfices indirects sont attendus lors de l'implantation de PGOSV. Si la biodiversité a déjà fait l'objet d'étude (Kazemi et coll., 2011) et si la réduction des îlots de chaleur commence à susciter de l'intérêt (McMeekin, sans date), les autres avantages tardent à être étudiés afin d'en comprendre la teneur et d'en accroître l'ampleur.

L'échange d'information et le dialogue entre services municipaux, entre professionnels, entre les villes et le public et avec d'autres acteurs tels les développeurs semble au cœur de la réussite de l'implantation des PGOSV tant dans nos études de cas que dans les études recensées dans la littérature (Fryd et coll., 2010 ; White et Alarcon, 2009). Ainsi, White et Alarcon (2009) ont examiné les raisons de l'échec de l'implantation des Sustainable Urban Drainage System (SUDS) dans les villes de la région du Grand Manchester. Malgré l'existence de politiques de planification favorisant l'implantation des SUDS, peu de SUDS avaient été réalisés. Le manque de connaissance à leur sujet était évoqué comme facteur expliquant ce phénomène par les experts interviewés dans le cadre du projet. Plus d'information auprès des parties prenantes, l'établissement de cartes répertoriant les SUDS, le mise en évidence de cas exemplaires étaient proposés afin d'améliorer ce bilan. Par ailleurs, on suppose que la disponibilité de manuels de gestion publiés par les villes ou les régions et la caractérisation de types reconnaissables de PGO contribue à la diffusion de ces pratiques chez les professionnels et peut-être aussi chez le grand public. Le fait de pouvoir télécharger les manuels à partir d'internet constitue probablement un atout important à cet égard tout comme la vulgarisation des actions entreprises par la ville par le biais de ce même médium. De fait, Roy et coll. (2008) identifiait le manque de normes d'ingénierie relatives aux PGO comme un obstacle à leur adoption.

L'information des citoyens par le biais d'assemblées d'information couplée à d'autres moyens de communications semble avoir permis une acceptabilité sociale des projets d'implantation des PGOSV par les citoyens dans les villes étudiées. Il faudrait valider cette supposition et

évaluer la plus value que représente l'implication citoyenne à divers stades du projet notamment dans la plantation et l'entretien des PGOSV à ce chapitre. L'efficacité des divers canaux de communications utilisés par les villes pourrait aussi être évaluée. Dans l'ensemble, il ne semble pas y avoir d'opposition organisée à ces projets, laquelle serait le signe d'un manque d'acceptabilité sociale selon Brunson (1996). Rappelons qu'il y a acceptabilité sociale du projet X lorsque les citoyens considèrent que ce projet X est préférable au projet Y. Il serait facile et important de vérifier cette acceptation sociale auprès des citoyens et par la même occasion de valider les éléments qui leur font considérer cette implantation comme préférable à la situation antérieure. Mentionnons que dans son étude des attitudes de la population de la région de Portland vis-à-vis des protections de la ressource eau, Larson (2009) a montré que, bien que la majorité des répondants aient été en faveur de la protection de la ressource eau, les individus présentaient des attitudes moins altruistes au moment de s'exprimer sur leur participation financière à ces mesures. Il est donc primordial de mieux comprendre le détail de l'acceptabilité sociale des PGOSV.

Toutes les villes étudiées présentent d'ailleurs une forme de réglementation allant de la gestion ou l'infiltration d'une portion variable des pluies sur la parcelle (Portland, Kronsberg, Philadelphie) jusqu'à l'obligation d'implanter des toits verts sur certains types de bâtiments (ex :Toronto), des noues (*Mulden Rrigolen* (Kronsberg)) ou des PGOSV en général (Portland).

D'après les informations obtenues, le suivi technique des PGOSV est assuré par trois des quatre villes. La ville de Philadelphie ne semble pas assurer de suivi directement mais elle est partenaire du programme Villanova Urban Stormwater Partnership qui lui assure l'accès à des chercheurs et des étudiants et une abondance de données sur ces systèmes. Ce programme comprend aussi des membres de l'industrie (Villanova Urban Stormwater Partnership). Il serait intéressant de valider les effets bénéfiques du suivi technique sur la confiance des professionnels locaux dans les PGOSV et sur les capacités d'innovation de la ville, une avenue déjà identifiée par White et Alarcon (2009). Par ailleurs, les données issues de suivis effectués au Québec seraient très utiles pour simuler le plus réalistement possible l'impact de l'implantation de ces PGOSV sur le système de drainage urbain dans son ensemble.

Les avantages collatéraux des PGOSV font peu l'objet de suivi bien qu'ils soient revendiqués par toutes les villes étudiées. La biodiversité a déjà fait l'objet d'étude (Kazemi et coll., 2011) et la réduction des îlots de chaleur commence à susciter de l'intérêt (McMeekin, sans date), mais les autres avantages tardent à être étudiés afin d'en comprendre la teneur et d'en accroître l'ampleur.

La simulation de l'implantation maximale des PGOSV sur trois sites de l'arrondissement de Beauport a néanmoins permis de relever un certain nombre de points d'intérêt tant en regard de l'implantation et du design des PGOSV que des améliorations possibles au modèle utilisé.

Dans les zones de biorétention, la rétention s'effectue dans les zones de stockage situées au-dessus de la zone de biorétention et en-dessous du drain. Une zone de rétention de faible profondeur existe sous les toits verts. Des PGOSV conçues pour retenir la pluie de conception utilisée pour les simulations soit 26 mm sur 6 heures devraient permettre de retenir et traiter 90% des pluies annuelles. Selon les simulations effectuées, l'implantation maximale de PGOSV sur ces sites a en effet permis de contrôler pleinement les volumes (-95% à -100%) et les débits de pointe (-98% à -100%) pour une pluie de 26 mm sur 6 heures.

Autrement dit les PGOSV ont rencontré leurs objectifs de conception. Par ailleurs, des performances moindres sont mentionnées dans le LID SWM Guide de Toronto (TRCA/CVCA, 2010) pour ce type de système (45% pour les zones de biorétention avec filtration seulement ; 45-55% pour les toits verts). Il faut préciser que, dans le SWMM LID Editor le sol est présumé s'assécher complètement entre les pluies ce qui ne reflète pas nécessairement la réalité.

Si l'on se fie aux résultats des études portant sur la performance de différents designs de zones de biorétention, les zones de biorétention avec infiltration complète (85%) devraient présenter une meilleure performance que les zones de biorétention avec fond imperméable (45%). Cela n'a pas été le cas dans nos simulations. Ainsi l'utilisation de zones de biorétention avec infiltration n'a pas permis de réduire de façon notable les volumes ou les débits de pointe par rapport à une zone de biorétention à fond imperméable du moins pour un temps de simulation de 24 heures. Ceci peut s'expliquer parce que les PGOSV étaient conçues pour retenir une pluie de 26 mm sur 6 heures et par le temps de simulation de 24 heures seulement. Selon nos simulations, l'intérêt d'utiliser les zones avec infiltration complète réside davantage dans la recharge de la nappe phréatique que dans la réduction des volumes.

Réduire les surfaces imperméables et augmenter les surfaces perméables végétalisées conduit déjà à une réduction des volumes et débits de pointes d'eaux de ruissellement. En effet, les scénarios dans lesquels la totalité des eaux de ruissellement était dirigée vers des surfaces perméables conduisent à des réductions de 45 et 56% des volumes et débits de pointe respectivement. Notons cependant que la totalité des surfaces imperméables représentaient environ 3,5 fois les surfaces converties en PGOSV dans le scénario 1 de sorte que la réduction des volumes serait plus faible à surface équivalente. Cette simulation vient confirmer le fait que le maintien de surfaces perméables existantes ou l'accroissement de ces dernières constitue un élément de la gestion des eaux pluviales tout en démontrant l'intérêt d'implanter des PGOSV pour obtenir des réductions substantielles de volumes et de débits de pointe. Il faut aussi ajouter que SWMM ne prend pas en compte l'avantage supplémentaire que constitue la végétalisation des surfaces par rapport une simple perméabilisation de ces dernières. En effet, le modèle ne permet pas de simuler l'impact réel de l'interception, de l'absorption et de la transpiration de la végétation en été. Cette dernière peut représenter jusqu'à 50% de l'évapotranspiration totale et excède la seule évaporation à partir d'un sol nu (Barry et coll., 2009; USEPA, 2008; Barry et Weil, 2002; Wilson et coll., 2001).

Les simulations ont aussi permis de confirmer l'utilité de ces systèmes dans la réduction des volumes et des débits de pointe non seulement pour les pluies de qualité en situation de changements climatiques mais aussi pour des pluies actuelles de plus fortes intensités soit des pluies de 2 et 10 ans. En effet, dans le cas d'une pluie de 10 ans, la simulation effectuée sur 24 heures résultait en une réduction de 59% et plus des volumes et débits de pointe. Une telle réduction peut avoir un effet appréciable sur les volumes générés par l'ensemble du système de drainage urbain particulièrement lorsqu'elle s'applique sur des surfaces imperméables d'envergure comme c'est le cas ici. L'implantation des PGOSV peut donc atténuer les impacts des pluies plus importantes et des nouveaux développements. Les PGOSV pourraient aussi rendre des services appréciables lorsqu'implantées à des sites critiques (zones de refoulement ou causant des problèmes d'érosion).

Les performances des PGOSV calculées lors de ses simulations sont meilleures qu'elles ne le seraient dans la réalité puisque le sol était toujours présumé être sec au moment de la pluie simulée. L'intégration de scénarios plus réalistes voire de données météorologiques réelles

comportant des pluies rapprochées de diverses intensités et un sol parfois saturé permettraient d'évaluer plus justement les performances potentielles de ces systèmes implantés à grande échelle. En contrepartie, le modèle ne permet pas de simuler l'impact réel de la transpiration de la végétation en été, laquelle peut représenter jusqu'à 50% de l'évapotranspiration totale et excède la seule évaporation à partir d'un sol nu tel que mentionné précédemment.

Les zones de biorétention sont conçues afin de retenir et traiter 90% des pluies annuelles. Or Viavanette et coll., (2010) sont d'avis qu'il faudrait les concevoir pour recevoir 100% des pluies. Certains concepteurs prévoient déjà une hauteur de stockage supérieure aux 225mm recommandés par le MDDEP. Ainsi dans le cas de la zone de biorétention du Mountain Equipment Coop à Longueuil les concepteurs ont-ils augmenté la hauteur de stockage à 450 mm au-dessus de la zone de biorétention et de 150 mm supplémentaires sur le pavage ce qui devrait permettre la rétention de pluies centenaires selon les concepteurs. Le débit admissible à la sortie était de 9,5 l/s/ha (Dugué, 2010).

L'équipe de Mailhot sera en mesure d'effectuer des simulations pour tout le secteur afin d'évaluer précisément l'apport des PGOSV dans la gestion des eaux pluviales à l'échelle du quartier. Rappelons que des simulations effectuées à l'échelle d'un quartier de la ville de Birmingham montraient des réductions de l'ordre de 20% avec l'implantation de toits verts seulement et ce, pour une pluie de 35 mm sur 10 heures (Viavanette et coll., 2010). Une simulation d'implantation de toits verts dans un quartier de New York avait donné des résultats similaires et montrait une diminution une réduction de 26% du nombre de débordements d'égouts unitaires dans ce secteur avec les données des pluies de 1988. (Montalto et coll., 2007). Le trajet de l'effluent des toits verts n'est pas indiqué mais on peut supposer qu'il n'était pas dirigé vers des surfaces perméables ce qui aurait réduit davantage les volumes. Mentionnons que ce type de simulation a déjà été effectuée à l'échelle de bassins versant mais pour des bassins versants agricoles et s'intéressait surtout à la réduction des charges polluantes (ex : Renscher et Lee, 2005 ; Mostaghimi et coll., 1997; Heatwole et coll., 1987).

Les simulations ont aussi permis de mettre à l'épreuve l'éditeur LID du logiciel SWMM. Or ce dernier présente certains problèmes de modélisation des structures végétalisées pour lesquelles les paramètres de conception dans le modèle n'étaient pas adaptés. En premier lieu le climat n'était pas pris en compte. De plus, le modèle limite la couverture végétale en l'excluant des zones de rétention. Ainsi une couverture végétale de 3 % est simulée par défaut, une couverture nettement insuffisante pour le bon fonctionnement d'une zone de biorétention laquelle repose en partie sur la transpiration des végétaux. Par ailleurs toute surface végétalisée est considérée également perméable et ne prend pas en compte les phénomènes d'interception qui varient selon la composition de la végétation. De même les sols en place sont supposés identiques sur tout le territoire ce qui ne reflète en aucun cas les conditions réelles. Un travail de prise en compte des effets de la végétation et du sol par l'éditeur LID du logiciel SWMM devrait être amorcé.

Bien que les simulations soient utiles pour évaluer l'apport potentiel des PGOSV à la réduction des volumes et des débits de pointe des eaux de ruissellement, les études de cas et les études recensées dans la littérature montrent l'importance d'amorcer en parallèle des suivis de systèmes existants afin d'obtenir des données reflétant les conditions régionales.

L'importance de données de suivi locales a d'ailleurs été soulignée par White et Alarcon (2009) pour favoriser la mise en place de SUDS.

Tel que mentionné précédemment, l'étude de la vulnérabilité de l'arrondissement n'a été qu'amorcée dans le cadre du présent projet. L'exposition aux aléas a été cartographiée pour les îlots de chaleur. Par les méthodes développées dans le cadre du projet de Thomas-Maret et coll., un indice de sensibilité sociétale (ISS) a été calculé pour chaque parcelle de 400 m de côté de l'arrondissement. Il a ainsi été possible de mettre en évidence le fait que les secteurs sud de l'arrondissement de Beauport présentaient plusieurs zones sensibles aux aléas.

Il est important de noter que l'ISS peut accentuer la sensibilité. En effet, comme mentionnée précédemment, afin d'effectuer l'analyse statistique, aucune valeur ne doit être nulle. Ainsi, en remplaçant ces valeurs par un nombre, soit 1 ou la moyenne selon le cas, certains indicateurs sont alors accentués et peuvent sembler plus corrélés avec d'autres indicateurs qu'en réalité (Cutter et coll., 2003). Il reste que la représentativité de la sensibilité n'est pas remise en question.

Suite aux résultats de l'analyse, le choix des 12 variables initiales issues du projet de Thomas-Maret et coll. (en cours de publication) peut être remis en question. En effet deux de 12 variables ont été rejetées lors de l'ACP. Or le choix de ces variables avait été validé par des pairs et des acteurs-clés lors de l'atelier tenu dans le cadre du projet de recherche de Thomas-Maret *et coll.* ce qui nous a incité à les utiliser. Il est possible que le rejet de variables provienne du fait que l'arrondissement de Beauport soit beaucoup plus petit que le territoire étudié dans l'autre projet. Beaucoup de variables et de composantes n'avaient pas autant de variances que dans le territoire étudié dans le cadre de l'autre projet pour cette raison. Cela explique peut-être nos résultats. Par ailleurs, un atelier de travail mené avec des personnes de la zone d'étude (sécurité publique, professionnels, etc.) aurait probablement permis d'obtenir une pondération des variables propres à l'arrondissement de Beauport et possiblement différente de celle employée dans le présent projet. Cela resterait à vérifier.

Au niveau de la sensibilité territoriale, diverses questions devraient être abordées dans un projet futur. En effet, certaines données territoriales vont bien au-delà des frontières de l'arrondissement, notamment les infrastructures routières. Il faudrait donc, considérer la sensibilité indirecte (dans ce cas : influence sur la mobilité etc.). Il serait aussi primordial de développer un indice de sensibilité territoriale car cela permettra de cibler les infrastructures jouant un rôle important pour la population. De plus, comme mentionnée précédemment, la pertinence d'avoir un indice de sensibilité territoriale est primordial car elle permet de cibler les infrastructures jouant un rôle important pour la population (Thomas-Maret et coll., en cours de publication).

Quant à la capacité d'adaptation, la seconde dimension de la vulnérabilité, il conviendrait de l'aborder dans un projet ultérieur. Complétant la dimension sensibilité, la capacité d'adaptation se compose non seulement d'éléments sociodémographiques et économiques mais elle est aussi le reflet du contexte politique et institutionnel (Thomas-Maret et coll., sous presse). La capacité d'adaptation est elle aussi représentée par un indice. La méthodologie proposée par Thomas-Maret et coll. permet de regrouper une liste de 36 variables et d'effectuer une analyse des composantes principales comme pour l'ISS. Ces variables sont divisées en cinq sous-catégories, à savoir :

1. Résilience sociale,
2. Résilience économique,
3. Résilience institutionnelle,
4. Résilience des infrastructures
5. Capital communautaire.

Étant donné le peu de temps imparti au projet, la prise en compte des préoccupations liées à la qualité du cadre de vie a été effectuée à partir d'une analyse des documents de planification de l'arrondissement (ex.: plan directeur d'aménagement et de développement). À l'instar des travaux de Fryd et al. (2010), cette analyse préliminaire aura permis de fournir certaines indications sur les secteurs du territoire d'étude qui se présentent comme des lieux d'intervention potentielle pour accueillir des aménagements dont les objectifs pourraient allier la récupération des eaux pluviales à l'amélioration du cadre de vie des populations (ex.: verdissement, apaisement de la circulation, etc.).

Cependant, le recours à des entretiens auprès des professionnels et des gestionnaires responsables des services d'urbanisme aurait permis de valider les secteurs prioritaires d'intervention à cibler par l'arrondissement en vue d'améliorer la qualité du cadre de vie des résidents. Considérant que les préoccupations entretenues envers le cadre de vie urbain relèvent ni plus ni moins de l'appréciation que les populations portent envers ces espaces de la quotidienneté, une réflexion plus approfondie sur les transformations souhaitables de ces milieux pourrait être engagée dans la poursuite de l'actuel projet à l'aide d'outils prospectifs et participatifs de plus en plus utilisés dans le domaine du paysage, par exemple la formule des ateliers de scénarios (Poullaouec-Gonidec et Paquette, 2011). Prenant appui sur un examen des tendances lourdes de développement et de prévisions issues de différents secteurs (ex.: transport, environnement, démographie, etc.), cette méthode offre l'avantage d'engager un dialogue sur les avantages et les contraintes de différentes options de développement et d'aménagement. Dans le contexte où la présente recherche interpelle une variété de dimensions (environnementale, sociale, économique) qui s'inscrivent sur un horizon de court, moyen et long terme, la pertinence de cette approche réside dans la possibilité de susciter une réflexion concertée avec l'ensemble des acteurs visés par ces questions (résidents, commerçants, gestionnaires, etc.) sur le devenir souhaitable des territoires habités autour d'une série de scénarios probables d'évolution, scénarios qui pourraient être assortis d'aménagements multifonctionnels aptes à concilier les différents besoins des collectivités en terme de récupération des eaux pluviales, de santé publique, de sécurité routière, etc. Dans cette perspective, il serait tout aussi intéressant d'examiner de quelle manière l'exposition aux aléas tels que les refoulements d'égouts ou les îlots de chaleur joue un rôle dans les aspirations évoquées par les populations visant l'amélioration de leur cadre de vie. Cette approche, au final, permettrait de mesurer la perception des risques et des inconvénients probables liée à ces aléas une fois intégrés dans l'élaboration des scénarios d'évolution prospectifs.

Tel que souligné précédemment, la relation entre le cadre de vie et la vulnérabilité a été peu étudiée malgré que ces deux concepts portent sur le milieu de vie des citoyens. Cependant qualité du cadre et vie et adaptation au changement climatique pourraient être inversement liés. Ainsi, Bonnet et coll. (2012) ont montré que, dans la région du Havre, un cadre de vie à caractère industriel augmentait la perception du risque. Dans une étude de Hébert et coll.

(2009, 11), au contraire, 60,6 % des 340 répondants d'une région côtière du Nord de la France soumise au risque d'érosion, ont répondu que « la qualité du cadre de vie côtier compense les risques liés à la proximité de la mer et seules 21,1% des personnes interrogées pensent le contraire ». Ainsi un cadre de vie de qualité pourrait nuire à l'adaptation aux changements climatiques en occultant l'exposition aux aléas. Une telle hypothèse amène à réfléchir et nécessite davantage de recherche.

Enfin, la mise au point et la mise à l'épreuve de l'outil de prise de décision a suscité certaines réflexions. Ainsi, malgré que les auteurs relèvent la complexité de la prise de décision en matière d'implantation de PGO sur un territoire (Viavanette et coll., 2010), il est possible de fonctionner avec une démarche raisonnée de prise de décision et ainsi de diminuer la complexité des décisions à chaque étape. Il suffit de ne considérer que les choix pertinents à chaque étape. Le recours à des cartes facilite aussi la communication avec des professionnels de toutes disciplines et sans doute avec les citoyens et les élus le cas échéant. Un certain nombre d'éléments additionnels devraient être indiqués sur les cartes notamment le sens de l'eau et les terrains potentiellement contaminés. Par ailleurs, des données manquent aux municipalités pour effectuer une planification à grand échelle : la profondeur de la nappe phréatique sur tout le territoire, la nature des sols et la topographie réelle. Les autres données identifiées suite à l'atelier doivent parfois être colligées ou échangées entre services. La cueillette des données constituera un défi de taille pour les administrations municipales mais elles ne pourront en faire l'économie si elles désirent planifier à grande échelle l'implantation des PGOSV. C'est aussi donc toute une culture de mise en commun des données qui doit être instaurée entre les divers services et paliers de gouvernement.

Le recours à une procédure ordonnée nous a permis de réduire le champ des possibles dès la première étape de l'outil. Des choix ont été effectués soit quant au choix des PGO : PGO de contrôle à la source tels que préconisés par les principes du LID, des PGO à la source végétalisés afin d'accroître la multifonctionnalité des systèmes, puis l'élimination de zones non propices à l'implantation des PGOSV retenus. Par ailleurs, le choix de diviser les arborescences par objectifs semble un mode de fonctionnement intéressant dans la mesure où les professionnels invités à l'atelier ont pris au sérieux cette directive. Cependant, par la suite, la fidélité à l'outil a varié selon les sous-groupes. Certains, particulièrement ceux qui avaient une connaissance approfondie du territoire et de son système de drainage, ont plutôt choisi de mettre l'outil de côté pour choisir des PGOSV et des sites de façon plus informelle. Dans ce cas, il n'a pas été possible de déterminer si la connaissance du territoire et du système de drainage leur permettait de court-circuiter certaines étapes et donc d'accélérer le processus ou si elle les empêchait de tirer parti de la démarche proposée. Par ailleurs, la collaboration entre les professionnels de différents horizons s'est avérée très féconde dans le cadre de l'atelier. L'aspect de la sensibilité n'a pas été pris en compte par les participants peut-être à cause du type de professionnels invités à l'atelier et parce que ce concept n'est pas encore très connu. Ce concept gagnerait à être mieux expliqué ultérieurement puisque sensibilité, adaptation et vulnérabilité sous-tendent l'implantation des PGOSV. Enfin, Il faudrait valider le moment où l'outil devient utile dans un processus de planification de même que le stade du processus d'implantation où la discussion de groupe devient la plus féconde et efficace.

Cependant les participants ne se sont pas prononcés d'emblée sur l'utilité de l'outil, même si l'atelier eut l'air d'être apprécié. Il serait important de faire un retour auprès des participants

afin de déterminer si l'outil leur a été néanmoins utile même si, pour certains, ils ne l'ont pas employé dans son intégralité.

## **7. Conclusion et recommandations**

### **7.1. Conclusion**

D'après les simulations effectuées dans le cadre de ce projet, l'implantation maximale de PGOSV sur un site permet de contrôler efficacement les volumes (95% et plus) et les débits de pointe (98 % et plus) des eaux pluviales pour 90% des pluies annuelles et ce, même en climat futur (2041-2070) (respectivement 93% et 89% de réduction et plus). Par ailleurs, elle permet un certain contrôle pour des pluies plus intenses (récurrence 10 ans) (59% et plus de réduction des volumes et débits de pointe). L'implantation de PGOSV représente donc une avenue prometteuse d'adaptation aux changements climatiques et ce, d'autant plus que ces dernières peuvent contribuer à réduire les îlots de chaleur. Des ajustements permettraient d'augmenter la performance des aires de biorétention. Ainsi, des designs d'aires de biorétention comportant une zone de stockage (rétention) plus profonde en surface pourraient encore améliorer la performance de ces dernières. De même les simulations ont permis d'établir qu'il faut éviter de considérer les toits verts comme des surfaces imperméables devenues parfaitement perméables aux fins de calcul du 10% de surfaces drainées dévolues aux aires de biorétention. Le fait de considérer les toits verts comme surfaces parfaitement perméables réduit d'autant la superficie requise d'aires de biorétention alors qu'en termes de stockage, les toits verts ne sont pas aussi performants que les aires de biorétention. L'utilisation d'un facteur de pondération proportionnel aux performances relatives des deux systèmes à ce chapitre permettrait de remédier à ce problème.

Les études de cas d'implantations réussies indiquent que leur succès découle notamment de conditions réglementaires et institutionnelles favorables. Ces dernières sont généralement issues de la nécessité de régler un problème de qualité de l'eau des cours récepteurs. L'appui d'une réglementation conséquente et contraignante à cet égard semble primordial : d'abord aux paliers supérieurs de gouvernement puis à l'échelle de la municipalité. Les subventions sont aussi mises en place étant donné le long délai de retour sur l'investissement pour les propriétaires privés. Ainsi, des taxes reflétant la contribution des propriétés aux volumes de ruissellement (ex :surfaces imperméables connectées au système de drainage urbain) et des subventions à l'implantation des PGOSV ont été instituées comme incitatif à la gestion des eaux pluviales à la source par les propriétaires privés dans les quatre villes étudiées. Les villes trouvent leur compte à l'implantation des PGOSV si cette dernière s'arrime avec d'autres objectifs, environnementaux ou liés au cadre de vie, ou s'intègre dans d'autres projets Les professionnels participant à notre atelier ont adhéré d'emblée à cette approche. Cependant, les concepts liés à la vulnérabilité n'ont pas trouvé de résonance chez ces professionnels et gagneraient à être mieux diffusés. Par ailleurs, il ressort que l'implantation des PGOSV doit être pensée et planifiée à l'échelle des bassins versants autant qu'à l'échelle du quartier et du site. Enfin, une implantation réussie implique de travailler à toutes les échelles. Par ailleurs, elle suppose une collaboration entre de multiples services municipaux et professionnels de diverses disciplines et paliers de gouvernement, une constante retrouvée dans toutes les études de cas et évoquée dans la littérature scientifique sur le sujet. Enfin, si les citoyens sont informés des projets de PGOSV dans tous les cas, les modalités

d'information varient de même que le degré de possibilité d'inflexion des projets par les citoyens et leur participation à ces derniers. Autant les études de cas que les recherches publiées dans la littérature scientifique indiquent qu'information, éducation et implication de tous les acteurs concernés, citoyens, professionnels, élus etc. sont des éléments centraux du succès de programmes d'implantation à grande échelle des PGOSV.

Un outil d'aide à la décision appuyé de cartes semble un excellent moyen de travailler l'implantation des PGOSV sur un territoire. Citoyens, élus comme professionnels peuvent s'y retrouver. Cependant, un certain nombre de données manquent aux municipalités du sud du Québec pour concevoir des cartes traitant de tous les aspects d'importance dans l'implantation des PGOSV notamment les groupes hydrologiques de sol, la profondeur de la nappe phréatique, les terrains ou activités pouvant engendrer des eaux contaminées ou potentiellement contaminées, des cartes topographiques comportant les pentes réelles retrouvées sur le terrain etc. Ces données sont non disponibles ou dispersées dans divers ministères ou services. Une implantation à grande échelle des PGOSV exigera de pouvoir rassembler ces données ce qui représentera un défi important.

L'arbre de décision constituait un outil d'aide à la décision simple à comprendre et utiliser mais dont les modalités d'utilisation restent à déterminer notamment le moment propice dans le déroulement du projet, le nombre de réunion nécessaire etc. Certains aspects pourraient être améliorés afin de rendre l'outil plus convivial ou plus performant: notamment les cartes manquantes identifiées par les participants à l'Atelier, les matrices traitant du cadre de vie, le traitement de la sensibilité, l'importance des surfaces imperméables etc. L'aide à la décision est un vaste champ de recherche et son application à l'implantation des PGOSV aussi. Le balisage des multiples possibilités en cette matière mériterait un projet à lui seul.

Les sensibilités territoriale ou sociétale de même que l'amélioration potentielle du cadre de vie doivent être prise en compte au moment de prioriser des zones d'implantation des PGOSV. Cependant les professionnels appelés à implanter ces systèmes n'ont pas le réflexe de considérer les éléments de sensibilité. Une meilleure information sur ce sujet pallierait cette lacune. Plus de recherche sur ces deux sujets et les relations entre eux permettraient de les intégrer de façon plus féconde dans l'outil.

En résumé, l'implantation à grande échelle des PGOSV dans les municipalités du Sud du Québec constitue une avenue prometteuse d'adaptation aux changements climatiques qui interpelle tous les paliers de gouvernement. Elle exigera une transformation des modes de fonctionnement, un dialogue et une collaboration soutenue entre tous les acteurs impliqués.

## **7.2. Recommandations et pistes de recherche**

L'adoption ou la mise en application de règlements sur la qualité des eaux à tous les paliers de gouvernement constituerait l'impulsion nécessaire à l'implantation des PGOSV à grande échelle.

Des incitatifs permettraient aux propriétaires privés de minimiser les pertes à court terme causées par l'implantation de certaines PGOSV comme les toits verts vu le délai de retour sur leur investissement.

La gestion par bassin versant devrait impérativement être appliquée même en milieu urbain.

La formation d'équipes multidisciplinaires chargées de l'implantation des PGOSV au sein des municipalités est une condition de succès de cette dernière.

Parmi les villes qui présentent des pratiques qui ressortent comme étant exemplaires en regard de l'implantation de PGOSV, il apparaît important de mieux comprendre les moyens concrets utilisés pour impliquer la population dans les nouvelles orientations portées par les autorités publiques (ex.: consultation publique, médias sociaux, etc.). Ce questionnement semble pertinent dans la mesure où les villes interviennent essentiellement sur le domaine public et cherchent, à travers leurs actions, à créer une mobilisation des intervenants privés (ex.: entreprises, propriétaires résidentiels) en faveur de pratiques partageant les approches et les valeurs municipales en matière de gestion des eaux pluviales.

La mise sur pied de projets pilotes déjà amorcée par certains propriétaires privés ou certaines municipalités doit être encouragée afin de familiariser le public avec les PGOSV et rassurer les professionnels quant à leur performance. L'analyse exhaustive de l'adaptation pourrait se faire dans le futur en lien avec de tels projets pilotes.

Les avantages non hydrologiques des PGOSV sont énoncés dans les projets municipaux mais ne sont pas documentés. Ces avantages (esthétiques, éducatifs etc.) devraient être étudiés et faire l'objet de suivi.

Il serait primordial de mieux comprendre le détail de l'acceptabilité sociale des PGOSV afin de pouvoir éventuellement la favoriser.

Des partenariats villes-universités visant à améliorer le design des PGOSV constitueraient une situation gagnante pour tous et accéléreraient la mise au point de systèmes adaptés aux réalités du Sud du Québec.

De nombreuses recherches ont été effectuées sur les performances des PGOSV, même en climat froid. Les simulations effectuées dans le cadre de ce projet montrent leur utilité dans la gestion des eaux pluviales même pour des pluies plus intenses que les seules pluies dites de contrôle de la qualité. Il est donc recommandé de favoriser plus activement l'implantation des PGOSV dans les municipalités et de concevoir ces dernières comme des moyens efficaces de gérer les pluies mêmes plus intenses notamment en accroissant leur capacité de rétention.

Les PGOSV se présentent comme des solutions à plusieurs problèmes liés aux changements climatiques. Ainsi, les PGOSV réduisent les effets d'îlots thermiques urbains. Il faut donc les implanter de façon à atténuer le plus possible les îlots de chaleur. Le document présentement en préparation par le Bureau de normalisation du Québec *Lutte aux îlots de chaleur urbains - Aménagement des aires de stationnement* est un exemple de solution visant les problèmes d'îlots de chaleur et de gestion à la source des eaux pluviales.

Par ailleurs, plusieurs données manquent aux municipalités pour effectuer une planification à grande échelle : la profondeur de la nappe phréatique sur tout le territoire, la nature des sols, la topographie réelle et les activités pouvant générer des eaux plus polluées etc. Ces données devraient être rassemblées et rendues facilement disponibles.

Il serait important de simuler l'implantation des PGOSV à l'échelle d'un bassin versant urbain pour mesurer la portée réelle de leur implantation sur les eaux de ruissellement.

Un travail de prise en compte des effets de la végétation et du sol par l'éditeur LID du logiciel SWMM devrait être amorcé

Il faudrait valider le moment où l'outil d'aide à la décision développé dans le cadre du présent projet devient utile dans un processus de planification de même que le stade du processus d'implantation où la discussion de groupe devient la plus féconde et efficace.

Il serait important de faire un retour auprès des participants afin de déterminer si l'outil leur a été néanmoins utile même si, pour certains, ils ne l'ont pas employé dans son intégralité.

Dans le contexte où les municipalités sont à la recherche d'outils et de mesures précis pour mettre en œuvre des PGOSV sur leur territoire, il serait nécessaire de poursuivre le développement de l'outil d'aide à l'implantation des PGOSV et d'en valider la portée opérationnelle pour un territoire concret. Ainsi, des scénarios d'implantation de PGOSV les plus aptes à rencontrer les objectifs de performance hydrologique tout autant que les objectifs d'aménagement des autorités municipales, d'amélioration du cadre de vie des citoyens et de réduction de la vulnérabilité des communautés, pourraient être identifiés.

Enfin, des méthodes de cartographie de l'adaptation aux changements climatiques et des vulnérabilités restent à développer. Les relations entre certaines dimensions de la vulnérabilité et le cadre de vie méritent d'être étudiées dans le contexte de l'implantation à grande échelle des PGOSV pour s'assurer que cette implantation rencontre les objectifs d'adaptation aux changements climatiques et d'amélioration du bien-être des populations à court et à long terme.

## **8. Références**

Adger, W. N. 2006. « *Vulnerability* ». *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 16(3), 268-281. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006

Agence du développement économique du Canada pour les régions du Québec. 2005.

*Entente Québec Canada relative au programme d'infrastructures*, Agence du développement économique du Canada pour les régions du Québec, Ottawa.

Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies (ARENE). 2005. *Quartiers durables. Guide expériences européennes*, Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies, Île-de-France, Paris

Altevers, B, Dr. Groß, C., Menze, H. 2000. *Water concept Kronsberg*, Part of the EXPO project, Ecological Optimisation Kronsberg. Stadtenwässerung Hannover, Hannover.

Ananda J. et Herath G., 2009. *A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning*, Ecological Economics, 68 2535–2548.

Apostolaki, S., Jefferies, C., Wild, T. 2008. *The Social Impacts of Stormwater Management Techniques, Water Practices and technology 1 (1)*. En ligne. <http://www.iwaponline.com/scripts/dtSearch/dtisapi6.dll?cmd=getdoc&DocId=52&Index=E%3a%5cdtIndex%5cIW%5fWPT&HitCount=1&hits=198+&SearchForm=D%3a%5ciwaponline%5cearch%5csearch%2ehm> (page consulté le 4 octobre 2009).

Babineau, L. 2009. *Suivi et performance du marais épurateur riverain du lac Saint-Charles à Québec*, Colloque 2009, Gestion écordable de l'eau pluviale : le rôle des phytotechnologies, Société québécoise de phytotechnologie. En ligne. <http://www.phytotechno.com/> (page consultée le 14 mars 2012).

Balay, O., Leroux, M. and Bardyn, J.L. 2006. *L'expérience esthétique de l'autoroute A47 entre Givors et Saint-Étienne*. France, École d'Architecture de Grenoble, Centre de Recherche sur l'Espace Sonore et l'environnement urbain (CRESSON), September 2006. 136 pages.

Barry, R., Plamondon, A.P., Bernier, P., Prévost, M., Seto, M., Stein, J. et Trottier, F. 2009. *Hydrologie forestière et aménagement du bassin hydrographique*, dans Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, *Manuel de Foresterie*, 2ème éd. Ouvrage Collectif, Éditions Multimondes, Québec, pp. 317-358.

Bastien, N. R. P. Arthur, S. et McLoughlin, M. J. 2011. *Public perception of SuDS ponds - Valuing Amenity*, 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil, 11-16 September 2011. 8 p.

Ben Mena S., 2000. *Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision*, Biotechnologie Agronomie Société Environnement 4 (2), 83–93.

Benjamin, K., Bouchard, A. Domon, G. 2007. *Abandoned farmlands as components of rural landscapes: An analysis of perceptions and representations*. Landscape and Urban Planning 83 : 228-244.

Berndtsson, J.C; Bengtsson, L. et Emilsson, T. 2006. *The influence of extensive vegetated roofs on runoff quality*, Science of the Total Environment 355 (1-3): 48-63.

Bertrand–Krajewski J.-L., Barraud S. et Bardin J.-P., 2002. *Uncertainties, performance indicators and decision aid applied to stormwater facilities*. Urban Water, 4 163–179.

Besson, Lucile. 2012. *Études de cas*. Université de Montréal.

Birch, Heidi; Bergman, Maria; Backhaus, Antje; Fryd, Ole et Ingvertsen, Simon Toft, 2008. *Sustainable Urban Drainage Systems - 8 case studies from the Netherlands*, Report, 2 Blue-Green, Université technique du Danemark, Université de Copenhague, Danemark.

Bitton, Gabriel. 1980. *Environmental Virology*, John Wiley And sons, New York.

Blecken, Godecke-Tobias; Marsalek, Jiri et Viklander, Maria. 2011. *Laboratory Study of Stormwater Biofiltration in Low Temperatures: Total and Dissolved Metal Removals and Fates*, Water, Air, & Soil Pollution 219 (1-4): 303-317, DOI: 10.1007/s11270-010-0708-2

Blecken, Godecke-Tobias; Zinger; Yaron ; Deletic, Ana; Fletcher, Tim D.; Annelie Hedström, Annelie et Viklander, Maria. 2010. *Laboratory study on stormwater biofiltration: Nutrient and sediment removal in cold temperatures*, Journal of Hydrology 394: 507–514.

Bohm, H. R.; Haupter, B.; Heiland, P. et Dapp, K. 2004. *Implementation of flood risk management measures into spatial plans and policies*. River Research and Applications, 20(3), 255-267. doi: 10.1002/rra.776.

Bonnet, E., Amalric, M., Chevé, M. & Travers, M. 2012. *Hazard and living environment: combining industrial risk and landscape representations*, Journal of Risk Research. DOI:10.1080/13669877.2011.646289

Boothby, T., Burroughs, C., Bernecker, C., Manbeck, H., Ritter, M., Grgurevich, S., Cegelka, S., Hillbrich Lee, P. 2001. *Design of wood highway sound barriers*. Res. Pap. FPL-RP-596. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory, 69 p.

Boucher, I., 2010. *La gestion durable des eaux de pluie*. Ministère des affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, Québec.

Brady, Nyle C. et R. R. Weil. 2002. *The Nature and Properties of Soils*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 960 p.

Bragge J., Korhonen P., Wallenius H. et Wallenius J., 2010. *Bibliometric Analysis of Multiple Criteria Decision Making/Multiattribute Utility Theory*. Dans M. Ehrgott, B. Naujoks, T. J. Stewart, J. Wallenius, *Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Energy and Transportation Systems*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer Physica-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 259-267.

Breinensen, Stephan. 2006. *Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland*. Urban Habitats, vol 4 (1) : 27-36.

Breuste, J. H. 2004. *Decision making, planning and design for the conservation of indigeous vegetation within urban development*. Landscape and Urban Planning 68, pp. 439-452.

Brooks, N., Adger, W. N., & Kelly, P. M. 2005. *The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation*. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 15(2), 151-163. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006

Brown, R.R. and Farrelly, M.A. 2008. *Sustainable Stormwater Management in Australia : Professional Perceptions on Institutional Drivers and Barriers*, 11th Conference on Urban Drainage, Edinburgh Scotland, UK.

Brown, Rebekah R. 2005. *Impediments to Integrated Urban Stormwater Management: The Need for Institutional Reform*. *Environmental Management* 36(3):455-68

Brown, Rebekah R. 2008. *Local Institutional Development and Organizational Change for Advancing Sustainable Urban Water Futures*. *Environmental Management* (2008) 41:221–233

Brown, Rebekah R. 2011. *Transitioning towards the water sensitive city: the Socio-technical challenge*. Dans *Water sensitive cities*, sous la direction de Carol Howe et Cynthia Mitchell, IWA Pub. London.

Brunson, M.W. 1996. *A definition of "social acceptability" in ecosystem management*. In: Brunson, M.W.; Kruger, L.E.; Tyler, C.B.; Schroeder, S.A., tech. eds. *Defining social acceptability in ecosystem management: a workshop proceedings*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-369. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: 7-16.

Buranen, M. 2010. *Philadelphia going green to manage stormwater*. *Stormwater* Jan-Feb 2010, website, <http://www.stormh2o.com/january-february-2010/philadelphia-going-green.aspx> (Page consultée le 26 Mars 2011).

Caratti, Pietro ; Dalkmann, Holger ; Jiliberto, Rodrigo. 2004. *Analysing strategic environmental assessment: towards better decision-making*, Edward Elgar Publishing, House, Cheltenham, England.

Carter, T. and C. R. Jackson. 2007. *Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales*. *Landscape and Urban Planning* 80(1-2):84-94.

Cavayas, F. Beaudouin, J.Y. 2008. *Étude des biotopes urbains et périurbain de la CMM*. Conseil régional de l'environnement Laval (CRE Laval). CRE Laval. En ligne. <http://www.cmm.qc.ca/biotopes/> (page consultée le 8 octobre 2009).

Champlovier, P., Hugot, M., Lambert, J., Laombardo J.C., Maillard, J. Martin, J. 2005. *Environnement virtuel pour l'évaluation et la perception des nuisances visuelles et sonores des infrastructures de transport*. Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité, Collection de INRETS, no 268, 135 p.

Chanthamala, Kimberley. 2012. *Rapport de l'étude de la sensibilité sociétale et territoriale de l'arrondissement de Beauport*. Université de Montréal, Montréal.

Chardon, A-C., J-C Thouret. 1994. *Cartographie de la vulnérabilité d'une population citadine face aux risques naturels : le cas de Manizales*. Mappemonde 4:37-40.

City of Portland, Oregon, 2010. *Grey to Green Initiative : working green for clean river*. En ligne. <http://www.portlandonline.com/bes/index.cfm?c=47203> (page consultée le 17 juin 2010).

City of Portland, Oregon. 2011a. *Ecoroof Incentives*. Bureau of Environmental Services. Portland, Oregon, website, <http://www.portlandonline.com/bes/index.cfm?c=48724>, (page consultée le 30 mars 2011).

City of Portland, Oregon. 2011b. *Green Streets*. Bureau of Environmental Services. Portland, Oregon, website <http://www.portlandonline.com/bes/index.cfm?c=44407>, (page consultée le 26 mars 2011).

City of Portland. 2008a. *Portland Stormwater Manual*. Bureau of Environmental Services. Portland, Oregon.

City of Portland. 2008b. *NN-7.03 - Stormwater Management Using Onsite Surface Vegetated Facilities*. Portland Online website, <http://www.portlandonline.com/auditor/index.cfm?print=1&a=192303&c=34460>, visited 30 March, 2011

City of Portland. 2004. *Siskiyou Curb Extension, Flow Test Report*. August 4th 2004, Bureau of Environmental Services, Planning Group, City of Portland, Oregon.

City of Portland. 2005. *Portland Watershed Plan*, Bureau of Environmental Services, Portland, Oregon.

City of Portland. 2004. *Stormwater Management Manual*, revision 3 September 1, 2004. Environmental Services, City of Portland, Clean River Works.

Colla, Sheila R.; Willis, Erin et Packer, Laurence. 2009. *Can green roofs provide habitat for urban bees (Hymenoptera: Apidae)?*, *Cities and the Environment* 2 (1) Article 4.

Commission for Architecture and the Built Environment (CABE). 2008. *Adapting public space to climate change*, CABE, London.

*Commission mixte internationale Canada-États-Unis*, dernière mise à jour 31 janvier 2012. En ligne. < [http://www.ijc.org/fr/documentation/ijc\\_cmi\\_nature.htm#nature](http://www.ijc.org/fr/documentation/ijc_cmi_nature.htm#nature) > (page consultée le 15 mars 2012).

Conseil national de recherches du Canada, 2003. *Eaux pluviales et eaux usées: contrôle à la source et sur les terrains de drainage municipaux*, Guide national pour des infrastructures municipales durables, Conseil national de recherché du Canada.

Conseil régional de l'environnement (CRE). 2010. *Guide sur le verdissement pour les propriétaires institutionnels, commerciaux et industriels*. Conseil régional de l'environnement de Montréal, Montréal.

Cutter, S., B. Boruff, W. Shirley. 2003. *Social Vulnerability to Environmental Hazards*. Social Science Quarterly 84(2): 242-261

Cutter, S., J. T. Mitchell, M. S. Scott. 2000. *Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina*. Annals of the Association of American Geographers 90(4):713-3

D'Ercole, R., P. Metzger. 2009. *La vulnérabilité territoriale: une nouvelle approche des risques en milieu urbain*. Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Dossiers, Vulnérabilités urbaines au sud, document 447, mis en ligne le 31 mars 2009. URL : <http://www.cybergeo.eu/index22022.html>

Dagenais, D. In Press. *Towards Successful Large-scale Implementation of Stormwater Best Managements Practices as Multifunctional Landscapes for Increased Liveability in Cities of the 21st Century*. In: International Symposium on Urban Futures and Human and Ecosystem Wellbeing, October 26-30th 2010, Shanghai, China, UNESCO, Chinese Academy of Sciences, Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).

Dagenais, Danielle ; Paquette, Sylvain ; Fuamba, Musandji et Thomas-Maret, Isabelle. 2011. *Keys to successful large-scale implementation of vegetated best management practices in the urban environment*, 12th International Conference on Urban Drainage, International Water Association, 11 au 16 septembre, 2011, Porto Allegre, Brésil. 8p.

Dagenais, Danielle, Froment, José ; Roberge, Yannick ; Koudachkina, Ioulia. Accepté 15 janvier 2011. *Aesthetic and planting design criteria to improve residents' acceptance of a new type of effective and economical highway acoustic barrier for narrow right-of-ways*. Environmental Concerns in Rights-of-Way Management, 9th International Symposium, Elsevier Science and Technology. 22 p.

Dagenais, Danielle, Gagnon, Caroline and Pelletier, Jean-Luc. 2010. *Development of design criteria to improve aesthetic appreciation of extensive green roofs (EGR)*. Acta Horticulturae (ISHS) 881:703-708, [http://www.actahort.org/books/881/881\\_115.htm](http://www.actahort.org/books/881/881_115.htm).

Daniel R. Thévenot. 2008. *Daywater: an adaptive decision support system for urban stormwater management*. IWA Pub, London.

Davis, Allen P.; Hunt, William F. ; Traver, Robert G. et Clar, Michael 4. 2009. *Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs*. Journal of Environmental Engineering, 111-117.

DeBusk, Kathy; Hunt, William F.; Hatch, Upton et Sydorovych, Ohla. 2010. *Watershed Retrofit and Management Evaluation for Urban Stormwater Management Systems in North Carolina*. Journal of Contemporary Water Research & Education 146: 64-74.

Deletic, A. et Fletcher, T.D. 2006. *Performance of grass filters used for stormwater treatment- a field and modelling study*, Journal of Hydrology 317: 261-275.

Deroubaix, José-Frédéric et Petrucci, Guido. Sans date. *Hydropolis*. En ligne. <http://daywater.in2p3.fr/FR/index.php?p=tutorialFR> (page consultée le 6 mars, 2012).

Dietz M. E. 2007. *Low Impact Development Practices: Current Research and Recommendations for Future Directions*. *Water Air Soil Pollution* 186: 123-138.

Dietz M. E. et Clausen, J.C. 2005. *A field Evaluation fo Rain Garden Flow and Pollutant Removal Treatment*. *Water, Air and Soil Pollution* 167: 123-138.

Dietz M. E. et Clausen, J.C. 2008. *Stormwater runoff and export changes with development in a traditional and low impact subdivision*. *Journal of Environmental Management* 87 : 560-566.

Drennan, R. Untangling Outreach. *Outreach and Community Involvement*. Bureau of Environmental Services, City of Portland, Portland, Oregon.

Dugué, Marie. 2010. *Conception d'un jardin de pluie théorie et pratique*, Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise ès sciences appliqués (génie civil), Département des génies civil, géologique et des mines, École polytechnique de Montréal.

Dunnett, Nigel et Clayden, Andy. 2007. *Rain Gardens, Managing water sustainably in the landscape*. Timber Press, Portland, Oregon.

Dunnett, Nigel et Kingsbury, Noël. 2008. *Planting Green Roofs and Living Walls*, édition revue et augmentée. Timber Press, Londres.

Dwyer, A., C .Zoppou, O. Nielsen, S. Day, S. Roberts. 2004. *Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards*. *Geoscience Australia Record* 2004/14

Edgar L. Villarreal, Edgar L.; Semadeni-Davies, Annette; Bengtsson, Lars. 2004. *Inner city stormwater control using a combination of best management practices*, *Ecological Engineering* 22 : 279–298.

Ehrgott M., Figueira J. et Greco S. 2010 (eds). *Trends in Multiple Criteria Decision Analysis, International Series in Operations Research and Management Science* 142, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 462 p.

Ellis, Bryan J.; Green, Green; Revitt, D. Michael. 2010. *Identifying success factors in urban surface water BMP implementation: Mission impossible? NOVATECH 2010*, 27 juin au 1er juillet 2010, Lyon, France.

Entrix. 2010. *Portland's Green Infrastructure : Quantifying the Health, Energy and Community Livability Benefits*. Final report prepared for the Bureau of Environmental Services, City of Portland.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency. 2004. *Stormwater Best Management Practice Design Guide*, 3 Volumes, EPA, Washington, DC, 495p.

EU WATCH. 2012. *Evaporation for July 1985-1999*. Water and Climate Change. En ligne. from <http://www.waterandclimatechange.eu/evaporation/july> (page consultée le 7 mai 2012)

Figueira J., Greco S. et Ehr Gott M. 2005. (eds). « Introduction ». Dans J. Figueira, S. Greco, M. Ehr Gott, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, 1045 p.

Fryd, Ole ; Backhaus, Antje ; Jeppesen, Jan ; Bergman, Maria ; Toft, Simon Ingvertsen ; Birch, Heidi Panduro, Toke et Fratini. 2009. *Connected disconnections: Conditions for landscape-based disconnections of stormwater from the Copenhagen sewer system in the catchment area for River Harrestrup*, Working Report. The 2BG Project, December 2009, Université technique du Danemark, Université de Copenhague, Copenhague, Danemark.

Fryd, Ole; Bergen Jensen, Marina; Toft Ingvertsen, Simon; Jappesen, Jan et Jacob, Magid. 2010. *Doing the first loop of planning for sustainable urban drainage system retrofits : A case study from Odense, Denmark*. Urban Water Journal, 7 (6) : 367-378.

Fuamba, M. ; Coulais, C.; Bertrand, H. 2011. *An innovative method for selecting efficient Best Management Practices*, 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil, 11-16 September 2011, 8p.

Fuamba, M., Wallaiser, T, Daynou, M., Rouselle, J. and Rivard, G. 2010. *Vers une gestion durable et intégrée des eaux pluviales: une étude de cas pour le Québec*. Revue canadienne de génie civil 37(2): 224-235, 10.1139/L09-146.

Fuamba, M., Wallaiser, T, Daynou, M., Rouselle, J. and Rivard. 2010. *Vers une gestion durable et intégrée des eaux pluviales: Application des propositions d'action publique au Québec*. Revue canadienne de génie civil 37(2): 209-223, 10.1139/L09-14

Fuamba, Musandji; Messih, Sandra; Nadeau, Roger; Poulin, Guy; Poulin, Martin; Rivard, Gilles; Robitaille, Claude; Rousselle, Jean; Qing Tao; Diana Qing; Tessier, Roger; Tremblay, Annie. 2008. *Pour une gestion intégrée des eaux pluviales au Québec*, Vecteur Environnement, 41 (5) novembre 2008 : 16-24.

Gagnon, Caroline. 2007. *Appréciation esthétique des équipements de transport d'énergie (réseau de pylônes)*. Doctorat en aménagement, Faculté de l'aménagement, Université de Montréal (2007).

Gallopin, G. C. 2006. *Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity*. Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions, 16(3), 293-303. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004

Getter, K.L., D.B. Rowe, and J.A. Andersen. 2007. *Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater rétention*. Ecological Engineering 31, (4): 225-31.

Giguere M. (2009). *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains*. Gouvernement du Québec - Institut National de Santé Publique du Québec (Ed.).

Gill, S.F., Handley, J.F., Ennos, A.R., Pauleit, S. 2007. *Adapting Cities for Climate Change : The Role of Green infrastructure*, Built Environment 33 (1) : 115-133.

Gobster, P. 1996. « Forest Aesthetics, Biodiversity, and the Perceived Appropriateness of Ecosystem Management Practices », In: Brunson, Mark W.; Kruger, Linda E.; Tyler, Catherine B.; Schroeder, Susan A., tech. eds. *Defining social acceptability in ecosystem management: a workshop proceedings*; 1992 June 23-25, Kelso, WA. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-369. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: 77-97.

Goff, K. M. and Gentry, R.W. 2006. *The Influence of Watershed and Development Characteristics on the Cumulative Impacts of Stormwater Detention Ponds Water*, IATUL Proc. 20: 829–860.

Goodman, Steven J.. Dernière mise à jour 5 août 1999. *Earth Science Office*. Nasa, US en ligne. [http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/urban\\_heat\\_island.html](http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/urban_heat_island.html) (page consultée le 4 mars 2012).

Granger D., Caradot N., Cherqui F. et Chocat B. 2010. *Comment gérer durablement un système de gestion des eaux urbaines ? Novatech : 7ème Conférence Internationale sur les Techniques et Stratégies Durables pour la Gestion des Eaux Urbaines par Temps de Pluie*, 27 juin -1er juillet 2010, Lyon, France.

Grant, Gary; Engleback, Luke et Barry Avec la collaboration de Dusty Gedge, Mathew Frith, and Peter Harvey. 2003. *Green Roofs: their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas*. English Nature Research Reports # 498, Ecoschemes, Studio Engleback. English Nature, Peterborough, England.

Green Roofs for Healthy Cities 2000-2005. *About Green Roofs*. En ligne. [http://www.greenroofs.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=26&Itemid=40](http://www.greenroofs.org/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=40) (page consultée le 1er août 2008).

Groth, Philip; Freede, Randall; Schroeere, William; Main, Eric. 2011. *Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change*. Landscape and Urban Planning 103 : 166-173.

Hamada, S. et Ohta, T. 2010. *Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas*. Urban Forestry and Urban Greening 9 (1) : 15-24.

Hands, Denise E. and Brown, Robert D. 2001. *Enhancing Visual Preference of Rehabilitation Sites*. Journal of Landscape and Urban Planning 58 : 57-70.

Hazards & Vulnerability Research Institute. University of South Carolina. *Social Vulnerability Index for the United States 2005-09*. En ligne. <http://webra.cas.sc.edu/hvri/products/sovi.aspx> (page consultée le 1er mars 2012)

Heatwole, C.D.; Bottcher, A.B. et Baldwin, A.B. 1987. *Modeling Cost-Effectiveness of Agricultural Nonpoint Pollution Abatement Program on two Florida Basins*. Water Resource Bulletin 23 (1) : 127-131.

Herbert, Vincent; Maillfert, Muriel; Petit, Olivier et Zuindeau, Bertrand. 2009. *Risque environnemental et action collective : l'exemple de la gestion du risque d'érosion à Wissant (Côte d'Opale)*, [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, 9, (3). <http://id.erudit.org/iderudit/044192ar>

Hidcote, Isobel W. 2010. *Watershed Management: Principles and Practice*. 2ème éd. John Wiley and sons. Hoboken, New Jersey. 453 p.

Hill, D. and Daniel, T. 2008. *Foundations for an Ecological Aesthetic: Can Information Alter Landscape Preferences?* Society and Natural Resources 21:34-49.

Hunt, W. F., Jarrett, A. R., Smith, J. T. Sharkey, L. J. 2006. *Evaluating Bioretention Hydrology and Nutrient Removal at Three Field Sites in North Carolina*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 132 (6): 600-608.

Hunt, W.F. White, N. 2001. *Designing Rain Gardens*. North Carolina State University and A&T State Cooperative Extension, College of Agriculture and Life Science, NC State University and School of Agriculture and Environment and Allied Sciences, NC A&T State University. North Carolina State University Service, North Carolina Cooperative Extension Service, Ag-588-3. •

Hunter, Mary Carol L.R. et Hunter, Mark D. 2008. *Designing for conservation of insects in the built Environment*, Insect Conservation and Diversity 1, 189–196 doi: 10.1111/j. 1752-4598.2008.00024.x

Ice, George. 2004. *History of Innovative Best Management Practice Development and its Role in Addressing Water Quality Limited Waterbodies*, Journal of Environmental Engineering 130 (6) DOI : 10.1061/ASCE0733-9372(2004)130:6(684)

Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement. Sans date. *Outil de gestion des eaux de pluie sur la parcelle*. En ligne. <http://www.bruxellesenvironnement.be/Templates/Professionnels/informer.aspx?id=3758&detail=tab1> (page consultée le 7 mars 2012).

Ishizaka A., Labib A., 2011. *Review of the main developments in the analytic hierarchy process*, Expert Systems with Applications 38 14336–14345.

Jackson, J.J. and Boutle, R. 2008. *Ecological Functions within a Sustainable Drainage System*. In Ashley, R.M. (Ed) Proc. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, 31st August - 5th September 2008.

Jensen, Chris A. ; Quinn, Rick J. et Davis, Taylor H. 2010. *Urban Watershed Management: Using Remote Sensing to Implement Low Impact Development*, Infrastructure Systems and Services: Next Generation Infrastructure Systems for Eco-Cities (INFRA), 2010 Third International Conference on infrastructure systems, 11-13 Nov. 2010. Harbin School of Technology, China; Tu Delft, Pays-Bas. En ligne. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5679206&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5679206&tag=1), (page consultée le 14 mars 2012)

Jiao, You, Whalen, Joann K et Hendershot, William H.. 2007. *Phosphate Sorption and Release in a Sandy-Loam Soil as Influenced by Fertilizer Sources*, Soil Science Society of America Journal 71:118-124.

Kadas, Gyonggyver. 2009. *Rare Invertebrates Colonizing Green Roofs in London*. Urban Habitats 4 (1): 66-86.

Kaini P., Artita K. et Nicklow J. W. Sous presse. *Optimizing Structural Best Management Practices Using SWAT and Genetic Algorithm to Improve Water Quality Goals*. Water Resource Management.

Kazemi, F., Beecham, S., Gibbs, J. 2011. *Streetscape biodiversity and the role of bioretention swales in an Australian Urban Environment*, Landscape and Urban Planning 101 (2): 139-148.

Khelifi, O., Lodolo, A., Vranes, S., Centi, G. et Miertus, S., 2006. *A web-based decision support tool for groundwater remediation technologies selection*. Journal of Hydroinformatics 8, 91–100.

King, D., & MacGregor, C. 2000. *Using Social Indicators to Measure Community Vulnerability to Natural Hazards*. Australian Journal of Emergency Management, The, 15(3), 52-57.

Kurtz, T. 2010. *Green Stormwater Management in Portland, Oregon*. Colloque 2010, Les phytotechnologies au service des villes et villages verts, Société québécoise de phytotechnologie, website, <http://www.phytotechno.com/>, (page consultée le 12 novembre 2010).

Lai E., Lundie S. et Ashbolt N.J., 2008. *Review of multi-criteria decision aid for integrated sustainability assessment of urban water systems*. Urban Water Journal, 5 (4) 315-327.

Larson, Kelli. 2009. *Social acceptability of Water Resource Management : A conceptual Approach and Empirical Findings from Portland, Oregon*. Journal of the American Water Association 45 (4) : 879-893.

Lawlor, Gail, Currie, Beth Anne, Doshi, Hitesh, Wieditz. 2006. *Toits verts. Manuel destiné aux décideurs municipaux*. Société canadienne d'hypothèque et de logement, Ottawa, Ontario.

Le Coustumer, Sébastien; Fletcher; Tim D. ; Deletic, Ana; Barraud, Sylvie et Poelsma, Peter . 2012. *The influence of design parameters on clogging of stormwater biofilters: A large-scale column study*, Water Research. Available online 1 February 2012. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431354> (page consultée le 14 mars 2012).

Lee C. S. et Chang S. P., 2005. *Interactive fuzzy optimization for an economic and environmental balance in a river system*. Water Research 39 (1) 221–231.

Leuzinger, s. Vogt, R. et Corner, C. 2010. *Tree surface temperature in an urban environment*. Agricultural and Forest Meteorology 150 (2010) 56–62.

Lewis, J.F. ; Hatt, B.E. ; Deletic, A. ; Fletcher, T.D. 2008. *The impact of vegetation on the hydraulic conductivity of stormwater biofiltration systems*, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 10 p.

Lindberg, F. et Grimmon, C.S.B. 2010. *The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation*. Theoretical and Applied Climatology 105 (3-4): 311-323.

Li, Houn; Sharkey, Lucas J.; Hunt, William F. et Davies Allen P. 2009. *Mitigation of Impervious Surface Hydrology Using Bioretention in North Caroline and Maryland*, Journal of Hydrologic Engineering, April 2009: 407-415.

Liu, K and Baskaran, B. 2005. *Using Garden Roof Systems to Achieve Sustainable Building Envelopes*. Construction Technology Update no 65, Institute for Research in Construction, Conseil National de Recherches du Canada.

Low Impact Development Center. 2011. En ligne. <http://www.lowimpactdevelopment.org/about.htm> (page consultée le 27 février 2012).

Lymes, D. 2000. *The Hydrological Effects of Urban Forests, with reference to the maritime Pacific Northwest*. Technical Bulletin No.6 October 2000, James Taylor Chair in Landscape and Liveable Environment, University of British Columbia, Vancouver, BC.

Mahaut, Valérie. 2011. *Prototype d'outil de gestion alternative de l'eau à l'échelle de la parcelle en région bruxelloise: retour d'expérience*. 2ème Rendez-vous international sur la gestion intégrée de l'eau. En ligne. <http://www.rv-eau.ca/index.php/fr/actes> (page consultée le 14 mars 2012).

Mailhot, Alain ; Duchesne, Sophie ; Caya, Daniel; Talbot, Guillaume. 2007. *Assessment of future change in intensity–duration–frequency (IDF) curves for Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model (CRCM)*, Journal of Hydrology 347, 197– 210.

Mailhot, Alain; Beauregard, Ian; Talbot, Guillaume; Caya, Daniel et Binerb, Sebastien. 2011. *Future changes in intense precipitation over Canada assessed from multi-model NARCCAP ensemble simulations*. International Journal of Climatology, Published online in Wiley Online Library ([wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com)) DOI: 10.1002/joc.2343

Mailhot, Alain. 2008. *Conception et planification des interventions de renouvellement est infrastructures de drainage urbain dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques*, Rapport A-1368, rédigé pour le Programme d'adaptation aux changement climatiques, Ressources naturelles Canada et le consortium Ouranos. Centre Eau Terre Environnement, Institut national de la recherche scientifique, Québec.

Malczewski J., 2006. *GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature*. International Journal of Geographical Information Science, 20 703–726.

Malec, Suzanne. 2003. *Storm Water Management in the City of Chicago*. City of Chicago Department of Environment. Chicago, IL. En ligne. <http://www.epa.gov/owow/NPS/natlstormwater03/21Malec.pdf> (page consultée le 15 mars, 2012).

Maltais-Landry, Gabriel, Chazarenc, Florent, Comeau, Yves, Stephane Troesch et Jacques Brisson. 2007. *Effect of artificial aeration, macrophyte species, and loading rate on nutrient removal in constructed wetlands mesocosm treating fish farm wastewater*. Journal of Environmental Engineering 6 : 409-414.

Maret I., Cadoul, T. 2008a. *La reconstruction de la Nouvelle-Orléans, participation citoyenne et planification durable*. Dans L'après-développement durable : espaces, nature, culture et qualité, dir. Antoine Da Lage & al., Paris, Ellipses, 121-128.

Maret I., Cadoul T. 2008b. *Résilience et reconstruction durable : que nous apprend La Nouvelle-Orléans ?* Annales de Géographie; n°663: 104-124.

Marsalek, J. Diamond, S. Kok, et Watt, W.E. 2001. *Eaux de ruissellement urbaines*, dans Menaces pour les sources d'eaux potables et les écosystèmes aquatiques au Canada, Rapport n° 1, Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada.

Marsh, W.M. 2005. *Landscape Planning Environmental Applications*. Hoboken, New Jersey : John Wiley and Sons.

Martin C., Ruperd Y., Legret M., 2007. *Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices*, *European Journal of Operational Research* 181 338–349.

Martin, C; Ruperd, Y. et Legret M. 2007. *Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practice*. *European Journal of Operational Research* 181 (1): 338–349.

Mathieu, I. 2003. *La face cachée de la banlieue. Plaidoyer pour la revitalisation de la première couronne de Québec*, *Journal Le Soleil*, édition du 20 octobre. p. A1-A2.

Mathunna, Tone M.; Viklander, Maria, Gjesdahl, Nina; Thorolfsson, Svein T. 2007. *Heavy Metal Removal in Cold Climate Bioretention*, *Water, Air and Soil Pollution* 183 (1-4): 391-402.

Maystre L. Y., 1997. *Une démarche pour négocier les décisions relatives à l'aménagement des territoires et à la gestion de l'environnement*. *Biotechnologie Agronomie Société Environnement* 1997 1 (4) :248-256.

McLeod, Shaun M.; Kells, James A. et Putz, Gordon J. 2006. *Urban Runoff Quality Characterization and Load Estimation in Saskatoon, Canada*, *Journal of Environmental Engineering* novembre 2006: 1470-1481.

McMeekin, Katleen. Sans date. *Effet de terre aux Habitations Jeanne-Mance. Réfection écologique et verdissement des stationnements*. Présentation. Ecoquartier Saint-Jacques. Montréal

McPherson E.G., Nowak D., Heisler G., Grimmond S., Souch C., Grant R., & Rowntree R.A.

1997. *Quantifying urban forest structure, function, and value : the Chicago Urban Forest Climate Project. Urban Ecosystems* 1, 49-61.

Mentens, Jeroen, Raes, Dirk, Hermy, Martin. 2006. *Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?* *Landscape and Urban Planning* 77 : 217- 226.

Metropolitan Council of Minnesota Twin Cities. 2003a. *Filter Strips*. Minnesota Urban Small Sites BMP Manual. <http://www.metrocouncil.org/environment/Watershed/BMP/manual.htm> (page consultée le 7 mars 2008; vérifiée le 8 janvier 2010).

Meyer, S. Reeb, C. et Boisdeveix, R. 2008. *Botanique: biologie et physiologie végétales*. Maloine, Paris. 490 p.

Miller, James R. 2008. *Conserving Biodiversity in Metropolitan Landscapes : A Matter of Scale (But which scale)*. *Landscape Journal* 27 : 1-8.

Ministère de l'environnement de l'Ontario. 2003. *Savoir gérer les eaux de ruissellement*. En ligne. [www.ene.gov.on.ca/cons/4328f.pdf](http://www.ene.gov.on.ca/cons/4328f.pdf) (page consultée le 9 octobre 2009).

Ministère des affaires municipales, des régions et de l'occupation du territoire (MAMROT). 2009. *Guide sur la conduite du renouvellement des infrastructures d'eaux potables et d'eaux usées*. Direction générale des infrastructures, Ministère des affaires municipales, des régions et de l'occupation du territoire, Québec.

Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs. 2002. *La qualité de l'eau et les usages récréatifs*. En ligne. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/recreative/causes.htm> (page consultée le 3 mars 2012)

Minnesota. 2005 v.2 janvier 2008. *The Minnesota Stormwater Manual*. Minnesota Pollution Control Agency St. Paul, Minnesota.

Mitchell, V.G. 2006. *Applying Urban Water Management Concepts: A Review of the Australian Experience*. *Environmental Management* 37 (5), 589-605.

Montalto, F., Behr, C., Alfredo, K., Wolf, M., Arye, M. and Walsh, M. 2007. *Rapid assessment of the cost-effectiveness of low impact development for CSO control*. *Landscape and Urban Planning* 82 :117–131.

Mostaghimi, S, Park, SW, Cooke, RA, Wang, SY. 1997. *Assessment of management alternatives on a small agricultural watershed*. *Water Research* 31 (8) : 1867-1878.

Moura P., Barraud S. et Baptista M. 2007. *Multicriteria procedure for the design and the management of infiltration systems*. *Water Science and Technology*. 55 (4) 145-153.

Musy, A. et Higy, C. 2004. *Hydrologie: une science de la nature*. Presses polytechniques et universitaires romandes.

Muthanna, T. M.; Viklander, M., Gjesdahl, N.; Thorolfsson, S. T. 2007a. *Heavy Metal Removal in Cold Climate Bioretention*. *Water, Air and Soil Pollution* 183 (1-4), 391-402.

Muthanna, Tone Merete; Viklander, Maria; Blecken, Godecke; Thorolfsson, Sveinn T. 2007b. *Snowmelt pollutant removal in bioretention areas*, *Water Research* 41 (18): 4061-4072

Office québécois de la langue française. Gouvernement du Québec. *Le grand dictionnaire terminologique*. En ligne. <<http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/gdt.html>> (page consultée le 26 février 2012)

Oke T.R., Crowther J.M., McNaughton K.G., Monteith J.L., & Gardiner B. 1989. *The Micrometeorology of the Urban Forest [and Discussion]*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 324(1223, Forest, Weather and Climate), 335-349 <http://www.jstor.org/stable/2990186>.

Olivier A., Lafontaine-Messier M., & Chicoine B. 2010. *La contribution potentielle de la forêt urbaine au développement durable des villes du Québec*. Les cahiers de l'institut EDS - Série Stratégies du développement durable, 1, 30.

Ontario Ministry of Environment. 2003. *Stormwater management and planning. Design Manual 2003*. En ligne. [http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/4329e\\_4.htm](http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/4329e_4.htm) (page consultée le 5 mars 2008).

Özgüner, H. and Kendle, A.D. 2008. *Public attitudes towards naturalistic versus designed landscapes in the city of Sheffield (UK)*. *Landscape and Urban Planning* 74:139-157.

Paquette, S., Poullaouec-Gonidec, P. et Domon, G., 2008. *Guide de gestion des paysages au Québec. Lire, comprendre et valoriser le paysage*. Ministère de la Culture, des Communications et de la Condition féminine, Chaire UNESCO et Chaire en paysage et environnement de l'Université du Québec, Québec, 96 p.

Parent, Sabrina. 2011. *Identification of Interactions between Principles of Hydrology and Aesthetic Performance for the Design of Stormwater Facilities*, mémoire de maîtrise, Maîtrise en architecture de paysage, Université Guelph, Guelph, Ontario. 140 p.

Parry, M.L.; Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. and Hanson, C.E. (eds). 2007. *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Pedersen, E., Larsman, P. 2008. *The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines*. *Journal of Environmental Psychology* 28 (2008) 379–389.

Parent, Sabrina. 2011. *Identification of Interactions between Principles of Hydrological and Aesthetic Performance for the Design of Stormwater Facilities*, Mémoire de maîtrise en architecture de paysage, Université de Guelph, Guelph, Ontario. 149 p.

Philadelphia Water Department. 2008. *Stormwater Management Guidance Manual*. Office of Watersheds. Philadelphia Water Department, City of Philadelphia.

Philadelphia Water Department. 2011. *Stormwater Management Guidance Manual v. 2.0*. Office of Watersheds. Philadelphia Water Department, City of Philadelphia.

Philadelphia Water Department. *Watershed Information Center*. Office of Watersheds. Philadelphia Water Department, website <http://www.phillyriverinfo.org/home.aspx> (page consultée le 31 Mars 2011)

Poullaouec -Gonidec, P., Gariépy, M., Adamczyk, G., Montpetit, C., et Paré, A., 2001. *Cadre de vie : balisage des concepts et perspectives de développement*. Rapport de recherche déposé au ministère de la Culture et des Communications, Chaire en paysage et environnement, Université de Montréal.

Poullaouec-Gonidec, P. et Paquette, S., 2011. *Montréal en paysages*. Presses de l'Université de Montréal, 260 p.

Poullaouec-Gonidec, P. et Paquette, S., 2009. *Guide d'intervention – paysages et cadres de vie montréalais*, projet de recherche mené en partenariat avec la Conférence régionale des élus de Montréal, Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal.

Prince George's County, 2007. *The bioretention manual*, Dept. of Environmental Resources, Prince George's County, Md.

Pronovost, René et Alarcon-Garcia, Andres. 2009. *Projets Jardins de pluie, rapport final*. Convention Fédération canadienne des municipalités. Étude du Fonds d'habilitation municipal vert (EF-2049). Rapport remis à la Fédération canadienne des municipalités, Fonds d'habilitation municipal vert.

Pyke, Meredith P.; Warren, Thomas Johnson; LaGro Jr., James; Scharfenbergc, Jeremy; Renschler, C.S. et Lee, T. 2005. *Spatially distributed assessment of short- and long-term impacts of multiple best management practices in agricultural watersheds*. Journal of Soil and water conservation 60 (6) : 446-456.

Read, Jennifer ; Fletcher, Tim D. Wevill, Tricia et Deletic, Ana. 2010. *Plant Traits that Enhance Pollutant Removal from Stormwater in Biofiltration Systems*. International Journal of Phytoremediation 12 : 34-53.

Ribe, R.G. 2002. *Is scenic beauty a proxy for acceptable management?* Environment and Behavior.34 (6), 757–780.

Rivard, G. 2005. *Gestion des eaux pluviales en milieu urbain: Concepts et applications: Alias communication design inc.*

Riversides. 2005-2009. *Toronto Homeowner's Guide to Rainfall*. En ligne. [http://www.riversides.org/rainguide/riversides\\_hgr.php?cat=3&page=126](http://www.riversides.org/rainguide/riversides_hgr.php?cat=3&page=126) (page consultée le 23 octobre 2009).

Rossman, L.A. 2010. *Storm Water Management Model User's Manual - Version 5.0*. United States Environmental Protection Agency.

Roy, A. H.; Wenger, S. J.; Fletcher, T. D., Walsh, C. J.; Ladson, A. R., Shuster, W. D.; Thurston, H. W. and Brown, R. R. 2008. *Impediments and Solutions to Sustainable, Watershed-Scale Urban Stormwater Management: Lessons from Australia and the United States*. *Environmental Management*. 42, 344–359.

Rumming, K. ed. 2004a. *Hannover Kronsberg Handbook, Planning and Realisation*. City of Hannover, Hannover.

Rumming, K. ed. 2004b. *Vorwärt nach weiter, Hannover-Kronsberg from model settlement to standard practice*. City of Hannover, Hannover.

Saltzman, D. and Marriott, D. 2008a. *Cost benefit analysis of ecoroofs*. Bureau of Environmental Services, City of Portland, Oregon, U.S.

Saltzman, D. and Marriott, D. 2008b. *2008 Stormwater Facility Monitoring Report. Summary*. Sustainable Stormwater Management Program, Bureau of Environmental Services, City of Portland, Oregon, U.S.

Schroll, Erin; Lambrinos, John; Tim Righetti, Tim et Sandrock, David. 2011. *The role of vegetation in regulating stormwater runoff from green roofs in a winter rainfall climate*, *Ecological Engineering* 37 : 595–600.

Semadeni-Davies, Annette; Hernebring, Claes; Svensson, Gilbert; Gustafsson, Lars-Gorän. 2008a. *The Impact of climate change in Helsingborg, Sweden: Combined Sewer*, *Journal of Hydrology* 350: 100-113.

Semadeni-Davies, Annette; Hernebring, Claes; Svensson, Gilbert; Gustafsson, Lars-Gorän. 2008b. *The Impact of climate change in Helsingborg, Sweden: Suburban Stormwater*, *Journal of Hydrology* 350: 114-125.

Shindler, B. A.; Brunson, M.; Stankey, G. H. 2002. *Social acceptability of forest conditions and management practices: a problem analysis*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-537. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 68 p.

Shuster, William D.; Morrison, Matthew et Webb, Rachel. 2008. *Front-loading urban stormwater management for success –a perspective incorporating current studies on the implementation of retrofit low-impact development*. *Cities and the Environment* 1 (2): Article 8. 15 pp. <http://escholarship.bc.edu/cate/vol1/issue2/8>

Smullen, James T., Myers, Dwyne R., Reynolds, Shannon K. 2008. *A Green Approach to Combined Sewer Overflow Control: Source Control Implementation on a Watershed Scale*, *Proceedings of the Water Environment Federation* 12 : 714-725.

Société canadienne d'hypothèque et de logement. 1996-2008. *Techniques végétaives*. En

ligne. [http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/prin/dedu/ealo/ealo\\_011.cfm](http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/prin/dedu/ealo/ealo_011.cfm) (page consultée le 15 mars 2012).

Société québécoise de phytotechnologie. (2011). En ligne. <http://www.phytotechno.com/> (page consultée le 14 mars 2012).

Société québécoise de phytotechnologie. 2009. *Gestion écodurable de l'eau pluviale: l'apport des phytotechnologies*, colloque 2009. En ligne. <http://phytotechno.com/> (Page consultée le 5 novembre 2009).

Sommer, H., Sieker, H. & Zweyenert, U. 2008. *Long term experiences with decentralized infiltration-systems in Germany*. NOVATECH 2008, Lyon, France.

Song, Keun-Yea, Zoh, Kyung-Duk et Kang, Hojeong. 2007. *Release of phosphate in a wetland by changes in hydrological regime*, Science of The Total Environment 380 (1-3) : 13-18.

Sorvig, K., 2001. *A sound solution? Expressway noise walls can fix some community problems - while causing others*. Planning 67 (4): 10-15.

Spector, Andrea. 2012. *Projet d'implantation en milieu urbain de systèmes végétalisés de la contrôle à la source des eaux pluviales comme option d'adaptation aux changements climatiques: balisage des pratiques québécoises, canadiennes et internationales et développement d'un cadre d'implantation pour les municipalités du Sud de Québec, Report on the Simulation of Runoff Source Control Measure Implementation Scenarios in the Built Environment of Beauport, QC*, Université de Montréal, 15 mars 2012.

Stankey, G.H. and Shindler, B. (2006). *Formation of Social Acceptability Judgments and Their Implications for Management of Rare and Little-Known Species*. Conservation Biology, 20 (1), 28–37.

Statistiques Canada. *Site de Statistiques Canada : Organisme statistique national du Canada*. En ligne. <http://www.statcan.gc.ca/start-debut-fra.html> (page consultée le 18 février 2012)

Susca T.; Gaffin, S.R.; Dell'Osso, G.R. 2011. *Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs*. Environmental Pollution 159 (8–9): 2119–2126.

Taha H. 1997. *Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin*. Atmospheric Environment 31: 1667–1676.

Taylor A. C., Fletcher T. D. et Peljo L. 2006. *Triple-bottom-line assessment of stormwater quality projects : advances in practicality, flexibility and rigour*. Urban Water Journal, 3 (2), 79 – 90.

Teemusk, Alar et Mander, Ülo. 2007. *Run-off quantity and quality performance from a green roof : The effects of short term events*, Ecological Engineering 30 : 271-277.

Thomas-Maret, I.; N.Bleau, G. Dutil-Desjardins; P. Soto Abasolo. 2011. *Résultats et compte-rendu de l'atelier : Analyser la vulnérabilité sociétale et territoriale aux inondations en milieu urbain*. Document interne [Non publié] 14 pages.

Toronto and Region Conservation Authority, Credit Valley Conservation Authority (TRCA/CVCA/CVCA). 2010. *Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide*. Version 1. Toronto and Region Conservation Authority , Credit Valley Conservation Authority, Toronto, Ontario, Canada.

Toronto and Region Conservation Authority. 2006. *Evaluation of an extensive Green Roof , York University*. Toronto and Region Conservation Authority, Toronto, Ontario. 84 p + annexes.

Toronto and Region Conservation Authority. 2008. *Performance Evaluation of Permeable Pavement and a Bioretention Swale, Seneca College, King City, Ontario*. Toronto and Region Conservation Authority, Toronto, Ontario.

Toronto and Region Conservation Authority. 2009. *Review of the science and practice of stormwater of infiltration in cold climate*. Rapport préparé dans le cadre du Sustainable Technologies Evaluation Program pour le Ontario Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. 60 p.

Toronto Water. 2003. *Wet Weather Flow Management Policy*, Wet Weather Flow Program. City of Toronto, Toronto, Ontario, Canada.

Trowsdale, Sam A. et Simcock, Robyn. 2011. «Urban stormwater treatment using bioretention», *Journal of Hydrology* 397 ( 3-4) : 167-174.

Tsoukiàs A., 2008. *From decision theory to decision aiding methodology*. European Journal of Operational Research, 187 138–161.

Uhl, M. and Schiedt, L. (2008). *Green roof storm water retention – monitoring results*. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.146.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). Dernière mise à jour 2 février 2012. *SUSTAIN System for Urban Stormwater Treatment and Analysis Integration Model*. En ligne. <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/sustain/index.html>

USEPA. 1983. *Final Report of the Nationwide Urban Runoff Program*. U.S. Environmental Protection Agency, Water Planning Division, Washington, DC.

USEPA. 2006. *Preserving Natural Vegetation, National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)*, USEPA, Washington, D.C.

USEPA. 2008. *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Climate Protection Partnership Division, Office of Atmospheric Programs, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

USEPA. Dernière mise à jour 30 novembre 2011. *Low Impact Development*. En ligne. <http://www.epa.gov/owow/NPS/lid/> (page consultée le 3 mars 2012).

USEPA. Dernière mise à jour 24 mai 2006. *Grassed swales*, National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES). En ligne. <http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse&Rbutton=detail&bmp=75> (page consultée le 1er mars 2012).

Vander Linden, K. et Stone, M. 2009. *Treatment Performance of an Extensive Vegetated Roof in Waterloo, Ontario*. Water Quality Research Journal of Canada 44 (1) : 26-32.

Van Seters, T., Rocha, L., Smith, D. et Macmillan, G. 2009. *Evaluation of Green Roofs for Runoff Retention, Runoff Quality, and Leachability* Water Quality Research Journal of Canada 44(1) :33-47.

Vermont Agency of Natural Resources. 2002. *The Vermont Stormwater Management Manual, Vol. 1, Stormwater Treatment Standards*. Vermont Agency of Natural Resources. En ligne. <http://www.anr.state.vt.us/dec/waterq/stormwater.htm> (page consultée le 6 février 2009).

Viavattene, Christophe; Ellis, J. Bryan ; Revitt, D Michael ; Heiko Sieker; Peters, Christian. 2010. *The application of a GIS-based BMP selection tool for the evaluation of hydrologic performance and stormflow reduction*, Novatech 2010, 10 p.

Villanova Urban Stormwater Partnership. En ligne. <http://www3.villanova.edu/vusp/> (page consultée le 15 mars 2012).

Ville de Montréal. 2010. *Plan de développement durable de la collectivité montréalaise*. Ville de Montréal, direction de l'environnement et du développement durable, Ville de Montréal. 112 p.

Ville de Montréal. Sans date. *Récupérer les eaux de pluie*. En ligne. <http://ville.montreal.qc.ca/environnement> (page consultée en octobre 2009).

Ville de Québec. 2005a. *Plan directeur et d'aménagement et de développement. Annexe A-5. Arrondissement de Beauport*. Ville de Québec, Québec, Canada.

Ville de Québec. 2005b. *Portrait du territoire*. Service de l'aménagement du territoire. Direction de l'urbanisme. Ville de Québec, Québec, Canada.

Ville de Québec. 2010a. *Règlement sur le plan directeur et d'aménagement et de développement*. Règlement R.V.Q 990 [http://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/vie\\_democratique/administration/planification/pdad/index.aspx#schema\\_cuq](http://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/vie_democratique/administration/planification/pdad/index.aspx#schema_cuq)

Ville de Québec. 2010b. *Schéma d'aménagement*. Communauté urbaine de Québec. En ligne [http://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/vie\\_democratique/administration/planification/pdad/index.aspx#schema\\_cuq](http://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/vie_democratique/administration/planification/pdad/index.aspx#schema_cuq) (page consultée le 3 mars 2012).

Ville de Québec. 2012. *Document de consultation en marge de l'élaboration d'un plan de mobilité durable - La possibilité de choisir son cadre de vie*. En ligne. [http://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/vie\\_democratique/participation\\_citoyenne/consultations\\_publiques/mobilite/document\\_consultation/urbanisation.aspx](http://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/vie_democratique/participation_citoyenne/consultations_publiques/mobilite/document_consultation/urbanisation.aspx) (page consultée le 3 mars 2012).

Ville de Toronto. Sans date. *Green Roof Bylaw*. En ligne. <http://www.toronto.ca/greenroofs/overview.htm> (page consultée le 12 mars 2012)

Virine, Lev et Trumper, Michael. 2008. *Decision: the Art and Science*. Management Concepts, Vienna, Virginia, États-Unis.

Vogt, W.P 1993. *Dictionary of statistics and methodology : A nontechnical guide for the social sciences*. Sage, Newbury Park, CA .:

Water and Environment Research Foundation (WERF). 2009. *Case studies*. Water and Environment Research Foundation website: [http://www.werf.org/livablecommunities/studies\\_main.htm](http://www.werf.org/livablecommunities/studies_main.htm) (page consultée le 27 mars 2011).

Wilson, Kell B; Hansonb, Paul J.; Mulholland, Patrick J; Baldocchi, Dennis D. A. Stan D Wullschleger, Stan D. 2001. *Comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance*. *Agricultural and Forest Meteorology* 106 (27): 153–168

White, Iain et Alarcon, Alexandra. 2009. *Planning Policy, Sustainable Drainage and Surface Water Management: A Case Study of Greater Manchester*, *Built Environment* 35 (4): 516-530.

Wise, S. 2008. *Green infrastructure rising: best practices in stormwater management*. *Planning* 74 (8), 14-19.

Wolf, Derek et Lundholm, Jeremy T. 2008. *Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability*, *Ecological Engineering* 33 : 179–186.

Wustenhagen, R., Wolsinkb, M., Bürera, M.J.. 2007. *Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept*, *Energy Policy* 35 (2007) 2683–2691.

Yeletaysi, S., Ozceylan, D., Fiedrich, F., Harrald, J. R., & Jefferson, T. 2009. *A Framework to Integrate Social Vulnerability into Catastrophic Natural Desasters Preparedness*. Paper presented at the TIEMS, Istanbul.

Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods, 4th ed.* Sage Publications, Thousand Oaks, California.

Yohe, G., & Tol, R. S. J. (2002). *Indicators for social and economic coping capacity - moving toward a working definition of adaptive capacity*. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 12(1), 25-40. doi: 10.1016/s0959-3780(01)00026-7.

Yong, Raymond N. and Phadungchewit, Yuwaree. 1993. *pH influence on selectivity and retention of heavy metals in some clay soils*, *Can. Geotech. J.* 30(5): 821–833 .

Young K. D., Younos T., Dymond R. L., Kibler D. F. et Lee D. H. 2010. *Application of the Analytic Hierarchy Process for Selecting and Modeling Stormwater Best Management Practices*, Journal of Contemporary Water Research & Education, 146 50-63.

Yu C., & Hien W.N. 2006. *Thermal benefits of city parks*. Energy and Buildings, 38, 105-120.

Zoller, Henry G. et Beguin, Hubert. 1992. *Aide à la décision. L'évaluation des projets d'aménagement*. Economica, Paris. 301p.