



LES AIRES DE BIORÉTENTIONS

Le 26 mai 2018

Société québécoise de phytotechnologie - info@phytotechno.com
2030, Boul. Pie-IX, bureau 403, Montréal (Québec) H1V 2C8

PHYTOTECHNO.COM



1.0 INTRODUCTION

Le Québec s'est doté en 2002 d'une Politique nationale de l'eau afin de protéger les ressources hydriques ainsi que les écosystèmes aquatiques de la province¹⁴. Les biorétentions font partie des outils mis à la disposition des municipalités désirant adopter des pratiques plus respectueuses de ces milieux sensibles⁵⁸. Bien que cette phytotechnologie existe depuis plus de 20 ans, ce n'est que depuis la fin des années 2000 que l'on voit apparaître des biorétentions au Québec. Cette apparition, somme toute récente, des biorétentions dans le paysage québécois soulève l'intérêt et la réflexion chez de nombreux intervenants des milieux municipaux et de l'aménagement.

La présente fiche cherche à appuyer les professionnels et les élus dans leur démarche en offrant un portrait d'ensemble de cette phytotechnologie. Pour ce faire, les enjeux associés au cycle urbain de l'eau seront d'abord présentés. Les objectifs poursuivis par le recours aux biorétentions seront par la suite discutés. Nous présenterons ce faisant, les mécanismes impliqués dans la gestion et le traitement des eaux de ruissellement. Certains aspects à prendre en compte lors de la construction, du suivi et de l'entretien des biorétentions seront par la suite abordés, suivis d'un résumé des avantages et limites de la technologie. Finalement, des exemples concrets de projets aménagés au Québec ainsi qu'à l'international seront présentés.

2.0 CYCLE URBAIN DE L'EAU

L'eau issue des précipitations ainsi que de la fonte des neiges doit être gérée adéquatement en milieu urbain. En effet, ces eaux de ruissellement sont souvent contaminées. Bien que ce ne soit pas toujours obligatoire au Québec, un traitement préalable au rejet dans les milieux naturels est recommandé^{5,40}.

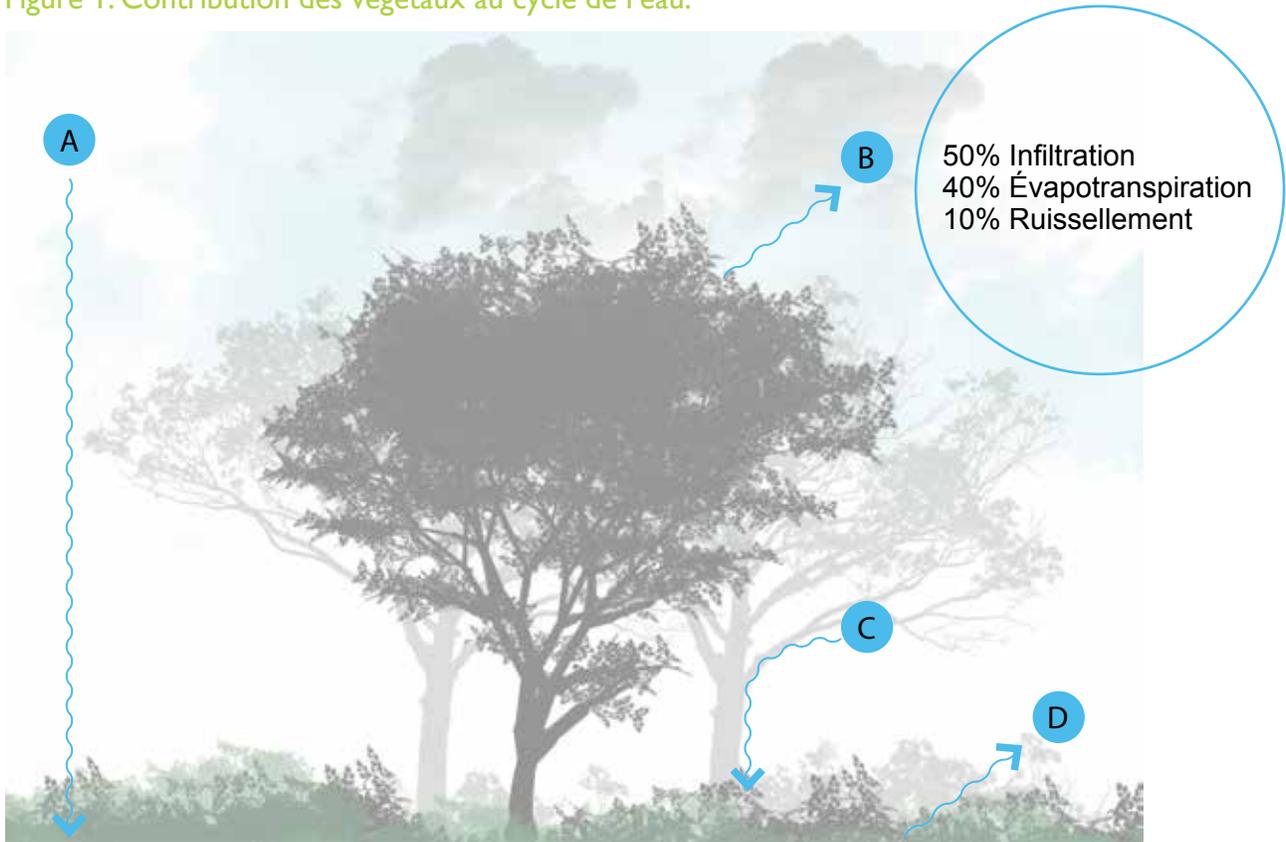
Les biorétentions ont été développées afin de répondre aux enjeux entourant le cycle urbain de l'eau. Les biorétentions sont essentiellement des dépressions créées afin d'y diriger les eaux de ruissellement issues des précipitations ainsi que de la fonte des neiges. Ces systèmes visent à reproduire certaines des fonctions essentielles jouées par les milieux naturels.

Les milieux naturels permettent l'infiltration ainsi que l'évaporation des précipitations (figure 1). Une forêt permettra par exemple l'infiltration de 50% des eaux pluviales, 40% seront retournées à l'atmosphère par le biais de l'évapotranspiration et seulement 10% se retrouveront à circuler en surface sous forme de ruissellement⁵. Les végétaux ralentissent de plus la vitesse à laquelle les précipitations touchent le sol.

Les gouttes de pluie qui sont interceptées par les parties aériennes des végétaux longent celles-ci avant de faire leur chemin jusqu'au sol. L'eau forme alors de plus grosses gouttes. Un sol bien protégé, que ce soit par la litière naturelle, un paillis ou des herbacées au réseau racinaire dense, ne sera pas affecté outre mesure lorsque l'eau percutera le sol. Par contre, un sol laissé à découvert pourra subir de l'érosion à la suite de fortes pluies⁶.

En milieu urbain, la forte proportion de sols imperméabilisés ainsi que le faible couvert végétal modifie profondément le cheminement des précipitations comparativement aux milieux naturels⁴¹. La quantité d'eau pouvant être infiltrée dans les sols ou retournée à l'atmosphère par évapotranspiration est fortement réduite⁷.

Figure 1: Contribution des végétaux au cycle de l'eau.



- A** Précipitation non interceptée par la canopée
- B** Interception / évapotranspiration par la canopée
- C** Précipitation ralentie par la végétation
- D** Interception / évapotranspiration par la litière

Contrairement au cycle naturel de l'eau illustré ci-haut (figure 1), en milieu urbanisé l'eau circule sur des surfaces imperméables telles que la place publique illustrée ci-bas (image a). Ces surfaces sont conçues

afin de limiter les obstacles au drainage (image b). La pluie qui tombe au sol dans ces milieux est rapidement évacuée vers les réseaux municipaux de gestion des eaux usées (image c).



a



b

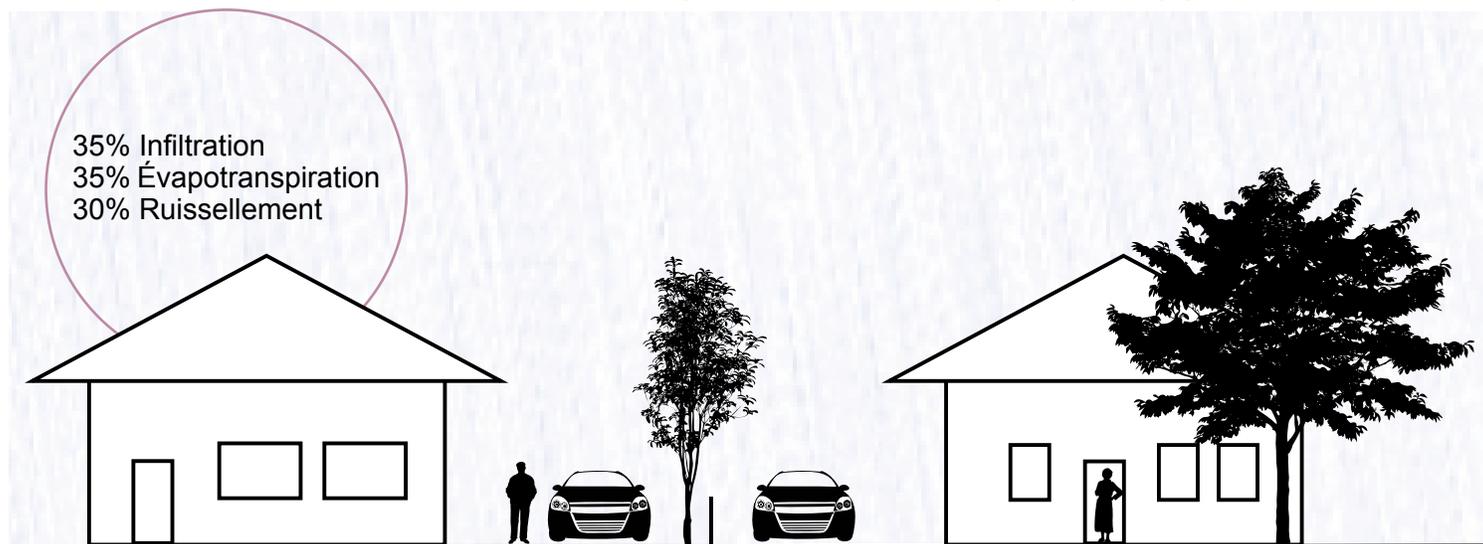


c

Par conséquent, à la suite du développement d'un territoire, les volumes d'eau de surface atteignant les cours d'eau peuvent augmenter de 3 à 5 fois par rapport à un milieu naturel de superficie équivalente⁷. Ceci s'explique par la proportion de surfaces recouvertes de matériaux imperméabilisants. Pensons

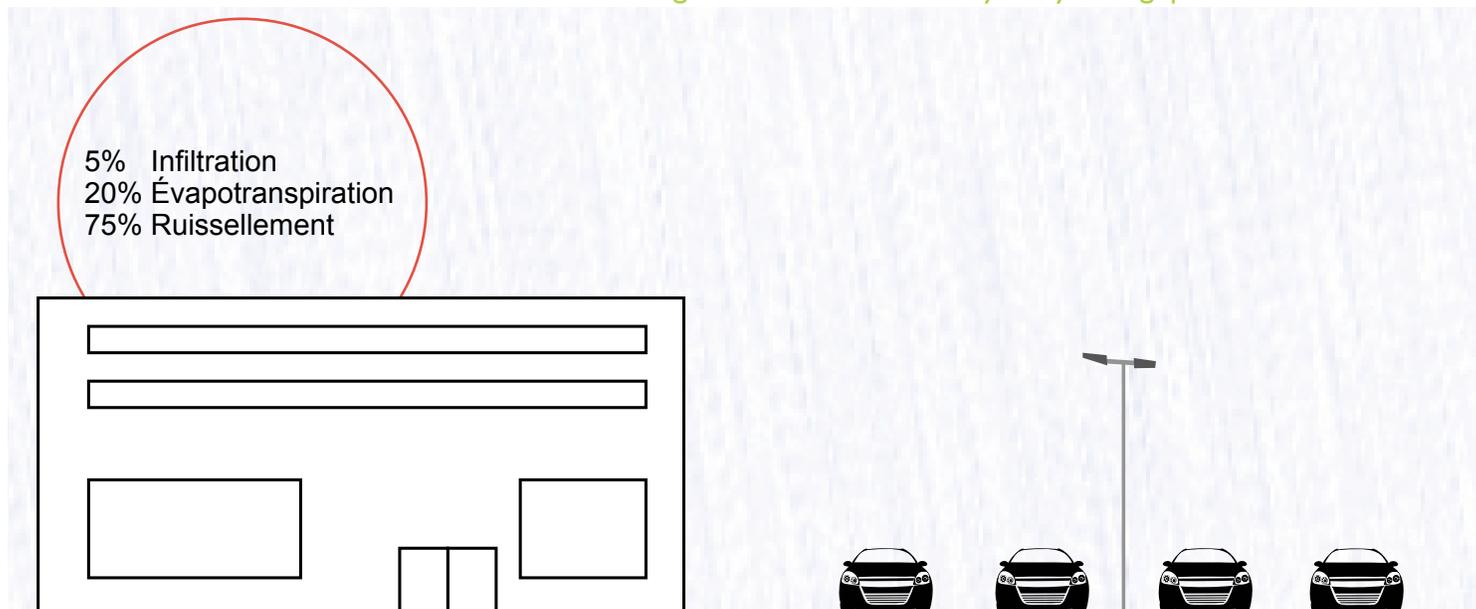
aux voies de circulation, aux toitures ou encore aux stationnements recouverts d'asphalte (Figure 2 et 3). L'aménagement des milieux industriels, commerciaux et institutionnels est particulièrement problématique à cet égard.

Figure 2: modification du cycle hydrologique en milieu résidentiel



En milieu résidentiel, un taux d'imperméabilisation du sol entre 30 et 50% peut accroître le ruissellement de trois fois par rapport au milieu naturel^{5,7}.

Figure 3: modification du cycle hydrologique en milieu commercial



En milieu commercial, l'imperméabilisation du sol est deux à trois fois plus grande qu'en milieu résidentiel. Le ruissellement pourrait être plus de sept fois supérieur au milieu naturel^{6,8}.

Les réseaux municipaux de gestion des eaux usées peuvent être unitaires ou séparatifs. Les systèmes unitaires mêlent les eaux usées aux eaux de ruissellement alors que les systèmes séparatifs les traitent à travers deux réseaux distincts. Les bonnes pratiques en matière de gestion des eaux pluviales privilégient la mise en place de réseaux séparatifs. Compte tenu des coûts associés à la réfection des infrastructures, bon nombre de municipalités québécoises sont toutefois encore desservies par des réseaux unitaires qu'ils remplacent lorsqu'ils sont désuets. À titre d'exemple, à Montréal, les deux tiers du réseau est unitaire, l'ouest de l'île étant le seul secteur desservi par un système séparatif⁹.

Lors des périodes de fortes pluies, les eaux de ruissellement font gonfler les volumes d'eau cheminant

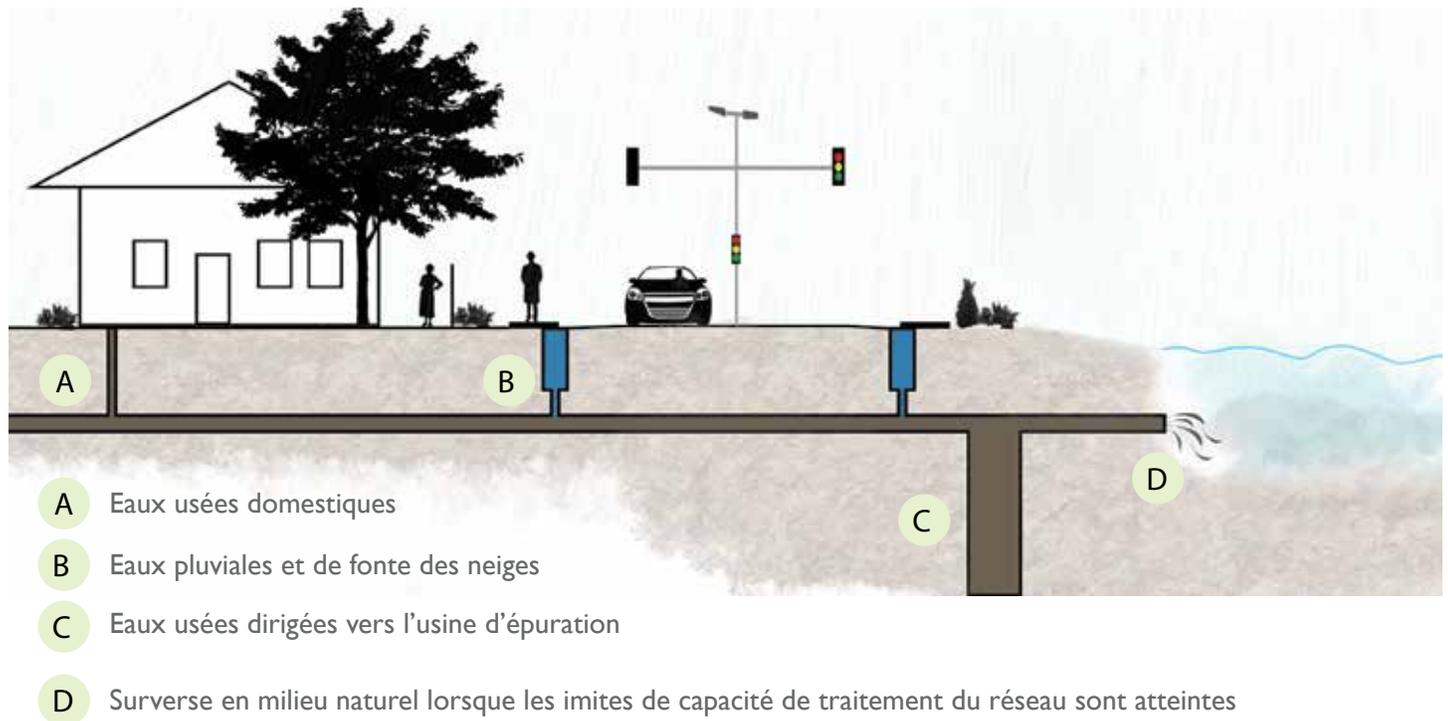
dans les systèmes unitaires. On observe alors des débits de pointe élevés découlant de l'arrivée d'une grande quantité d'eau en un court laps de temps⁷. Ceci contribue à l'érosion des cours d'eau ainsi qu'aux risques d'inondations³⁵. Dans un contexte de changements climatiques, de tels événements risquent de se produire de plus en plus souvent³⁸.

Comme ces infrastructures sont en mesure de gérer un volume d'eau précis en une période donnée, des débits de pointes élevés peuvent surcharger le réseau. On observe alors des surverses au sein des milieux naturels (image d)³⁶. Autrement dit, les eaux usées mélangées aux eaux de ruissellement se trouvent alors déversées directement dans les cours d'eau environnants sans traitements préalables (figure 4).



d

Figure 4: surverse au sein d'un milieu naturel lié à la surcharge d'un système unitaire de gestion des eaux usées



En résumé, le dépassement de la capacité de traitement des réseaux municipaux de gestion des eaux usées découle non seulement de la quantité d'eau qui entre dans le système, mais aussi de la vitesse à laquelle elle y est dirigée.

C'est ici qu'entrent en jeu les biorétentions. En effet, ces infrastructures peuvent contribuer à la réduction des volumes d'eau et des débits de pointe. Le dimensionnement de la cellule ainsi que la composition du substrat doivent être considérés avec attention pour atteindre ces objectifs hydrologiques²⁶. De plus, pour qu'un impact puisse être observé au sein d'un réseau, il est nécessaire d'intervenir à l'échelle de son bassin versant. Les exemples des villes de New York et de Portland, discutés à la section II, illustrent bien cette approche de planification.

Les biorétentions ont vu le jour dès 1990 dans le comté de Prince George dans l'État du Maryland aux États-Unis. Cette technologie a par la suite été adoptée un peu partout sur la planète. Ceci s'explique par la grande flexibilité du système qui imite les processus naturels. Ainsi, en adaptant l'aménagement afin de tenir compte de divers facteurs tels que le climat et le sol, il est possible d'élaborer un système adapté à une variété de contextes^{13 14}.

3.0 TERMINOLOGIE

Pour éviter la confusion, il est important de clarifier dès le départ le fait que, selon les régions du monde, plusieurs termes sont utilisés afin de se référer à ce même type d'ouvrage. À titre d'exemple, l'expression *rain garden* (jardin de pluie) est parfois utilisée dans la littérature s'adressant au grand public⁴³. En anglais, elle désigne généralement des aménagements simples visant la gestion des eaux pluviales à même les terrains privés⁷. Par contre, au Québec, nous avons constaté

l'utilisation de l'expression jardin de pluie dans le cadre d'appels d'offres de projets publics localisés sur de grandes artères⁸⁰. L'expression *stormwater biofilter* est utilisée en Australie alors que dans certains états américains tels que l'Oregon, on parle plutôt de *street swales*.

Pour l'essentiel, ces expressions se réfèrent à la même phytotechnologie. Par contre, certains distinguent les biorétentions des noues végétalisées (*swales*). Selon cette classification, la noue est aménagée de manière à servir d'infrastructure de transport des eaux de ruissellement⁴. Elle sera par conséquent aménagée avec une pente de 0.5 à 6%⁷. La biorétention n'est pas considérée dans cette classification comme une infrastructure de transport, elle doit par conséquent être aménagée avec une pente de moins de 2%⁷. Ces deux systèmes sont illustrés à la page 7.

4.0 FONCTIONNEMENT

Mis à part la question du transport, les noues et les biorétentions fonctionnent de manière très similaire. Ce sont des dépressions créées afin de capter les eaux de ruissellement. Une partie du sol est excavée pour être remplacée par un substrat calibré pour atteindre des objectifs hydrologiques et de qualité de l'eau. Le substrat agit au même moment de support de croissance pour les végétaux²⁰.

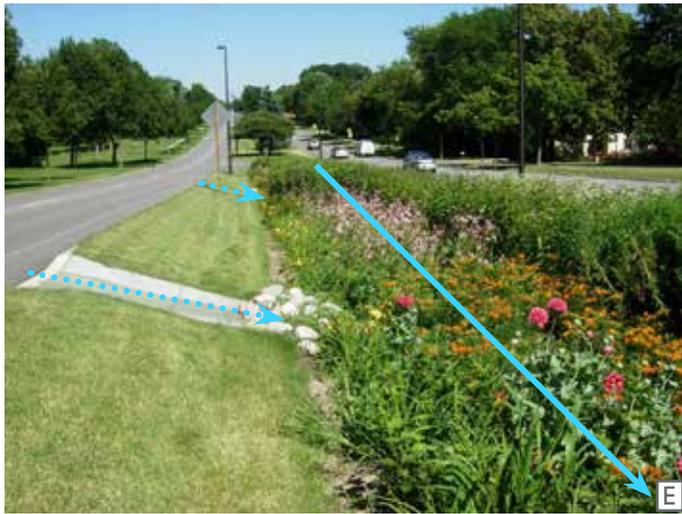
Ces systèmes sont caractérisés par :

- La variation du niveau de l'eau dans le système
- L'évacuation de l'eau de la cellule en moins de 72 h
- La faible profondeur du système

L'eau peut être infiltrée sur place (figure 5) ou redirigée vers le réseau municipal après avoir séjourné dans le système. Le type de système approprié dépendra de l'analyse de site et des objectifs fixés.

Noue plantée

L'eau de ruissellement est dirigée vers une tranchée végétalisée ayant une inclinaison suffisante pour permettre la circulation de l'eau.

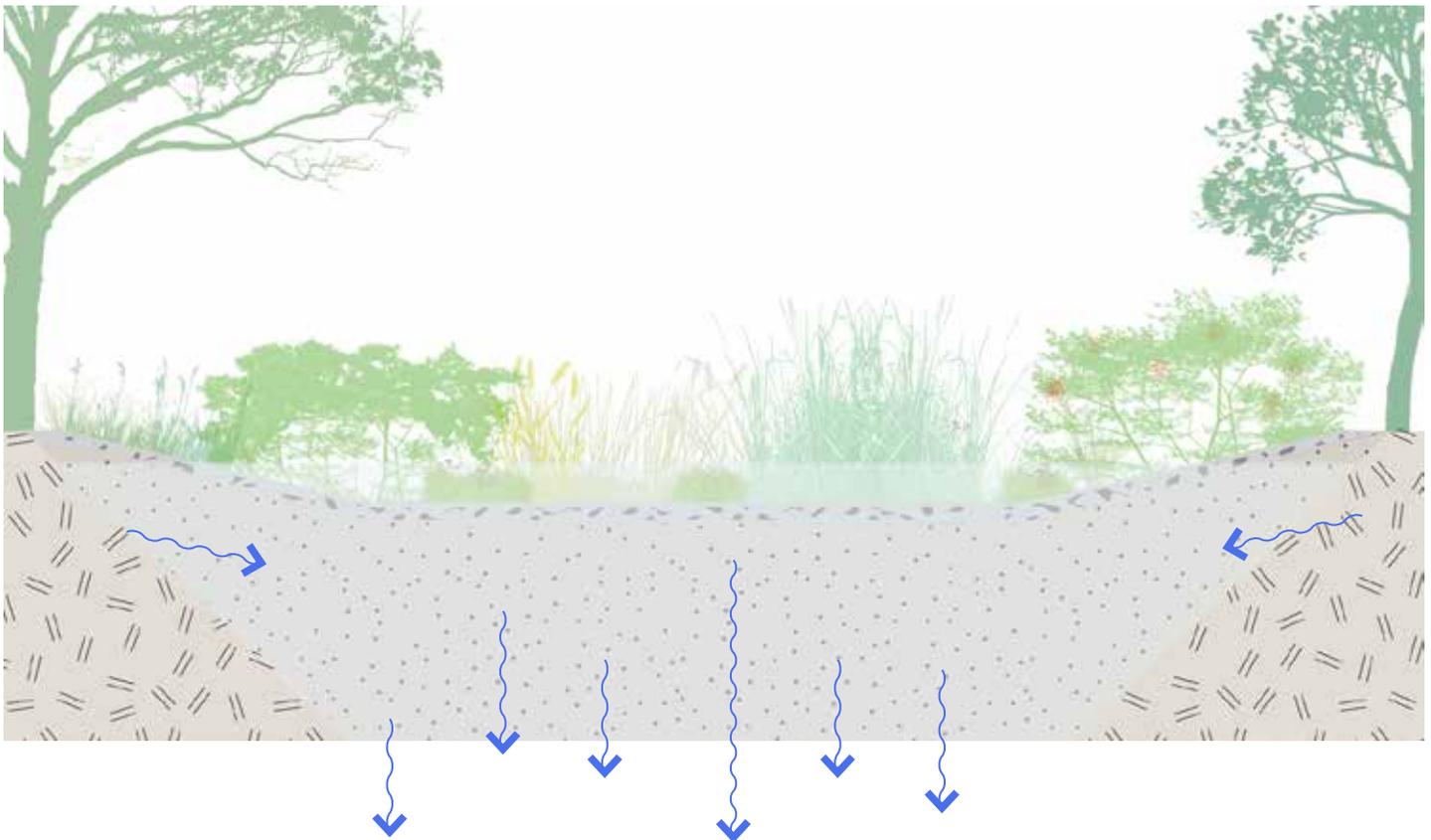


Cellule de biorétention

L'eau de ruissellement est dirigée vers un bassin végétalisé où elle sera filtrée avant d'être soit infiltrée sur place ou redirigée vers le réseau d'égout.



Figure 5: exemple de cellule de biorétention infiltrant les eaux pluviales sur place.



Dans cet exemple, l'eau s'infiltré dans le substrat pour ensuite pénétrer dans le sol existant. Il s'agit donc d'un système avec infiltration complète.

5.0 OBJECTIFS VISÉS PAR LES BIORÉTENTIONS

Au moment d'amorcer le design d'une biorétention, il est essentiel de clarifier les objectifs que l'on cherche à atteindre par l'implantation d'un tel système. Par exemple, pour maximiser la vitesse d'infiltration de l'eau, il faudra un substrat très poreux tandis que pour décontaminer l'eau avant son infiltration, il faudra un substrat qui ralentit l'infiltration pour maximiser le temps de contact entre l'eau et le substrat. Les choix de design doivent concorder avec les priorités., afin de négocier les compromis acceptables ou remettant en cause la capacité du système à répondre aux objectifs fixés.

L'ensemble des éléments d'une cellule de biorétention peut être modulé pour atteindre les objectifs fixés: dimension de la cellule, composition du substrat, choix des végétaux etc.. Il n'existe aucune solution unique. Les aspects essentiels à considérer sont présentés dans la présente section.

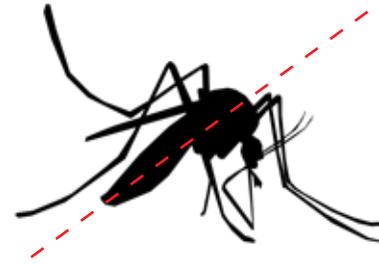
5.1 OBJECTIFS LIÉS À L'HYDROLOGIE

La première catégorie d'objectifs visés par les biorétentions concerne l'hydrologie. Les biorétentions peuvent contribuer à réduire la vitesse de circulation ainsi que les volumes d'eau de ruissellement dirigés vers les égouts. Ceci limite les débits de pointe et donc les risques de surverses.

Réduction de la vitesse

La vitesse d'évacuation peut varier en fonction des objectifs poursuivis et de la réglementation en place. En moyenne, on recommande l'évacuation de la totalité de l'eau dans les 24 à 72 heures suivant son arrivée dans le système ^{41,42}. Si l'eau est évacuée trop rapidement, la cellule de biorétention ne pourra pas contribuer à la gestion des débits de pointes.

Vitesse d'infiltration et reproduction des moustiques



Certaines personnes craignent de voir les biorétentions se transformer en zone de reproduction des moustiques. Selon le Dr Jacques Boisvert, expert des insectes piqueurs, en contexte québécois il y a peu de risques associés à la présence d'eau sur un site si elle est évacuée en moins de 7 jours. Pour être sécuritaire, un délai de 4 à 5 jours pourrait être recommandé ¹¹. Comme il a été mentionné précédemment, les biorétentions évacuent normalement les eaux de ruissellement au cours d'une période de 24 à 72h ^{41,42}.

Réduction des volumes

Tous les systèmes de biorétentions ne permettent pas d'atteindre les mêmes niveaux de réduction des volumes. Les systèmes avec infiltration complète accomplissent ce rôle plus efficacement que les systèmes avec filtration seulement (présence d'un drain et fond imperméable).

Les systèmes avec filtration seulement réduisent les volumes d'eau à travers l'évapotranspiration du sol et des végétaux. La quantité d'eau pouvant être évacuée de cette manière dépend du nombre d'heures passées dans le système ainsi que de la végétation présente (type et densité). La présence d'arbres dans une biorétention augmente la quantité d'eau pouvant être évacuée par évapotranspiration et par infiltration par les canaux racinaires⁴.

Sur une base annuelle, on peut s'attendre à ce que le volume d'eau qui rejoint les canalisations soit réduit d'environ 85% pour un système avec infiltration complète et d'environ 45% pour un système avec drain et fond imperméable⁷.

Un drain est nécessaire lorsque:

- Le taux d'infiltration est de moins de 15 mm/h⁷. Une structure de sol composé de particules fines (argile, limon), peut mener à cette situation.
- L'eau ruisselle sur des surfaces fortement contaminées. Il sera alors nécessaire de poser un drain, relié à des structures souterraines de gestion des eaux pluviales, ainsi qu'une membrane imperméable pour protéger la nappe phréatique.

Composition du substrat

La composition du substrat influence à la fois la capacité des biorétentions à atteindre les objectifs hydrologiques et les objectifs de qualité de l'eau. La gestion de la vitesse d'infiltration par le substrat est liée à la texture et à la structure du sol.

La texture du sol est liée à sa composition. Les sols sont composés de particules de différentes tailles. En ordre croissant, on retrouve les argiles, les limons et les sables. Plus les particules sont grosses et plus l'eau circulera rapidement dans le substrat. Afin d'éviter le colmatage du système, le substrat des biorétentions doit contenir une faible proportion de particules fines. Les particules du sol (sable, limon et argile) peuvent s'agencer de différentes manières, créant des structures de sol variées⁷⁹.

La structure de sol est liée à l'assemblage des particules dans le sol ainsi qu'à la présence de zones vides existant entre les particules. Plusieurs facteurs influencent la structure du sol, incluant la texture du sol, le climat,

la matière organique ainsi que les microorganismes, invertébrés et petits animaux fouisseurs présents dans le sol^{79,81}. Ces facteurs peuvent inhiber ou encourager la formation d'agrégats de particules.

La présence d'agrégats contribue au développement d'un sol bien aéré au sein duquel l'eau peut circuler aisément. La composition du substrat doit donc être pensée de manière à limiter la compaction et favoriser la création d'agrégats. Bien que la matière organique contribue à la formation d'agrégats, une grande quantité de matières organiques peut entraîner le relargage de nutriments et de particules organiques ayant des conséquences non-négligeables dans certains cas sur la qualité de l'eau en aval. De fait, de nombreux substrats pour biorétention comportent une trop grande quantité de matière organique²⁶. Afin d'éviter cette situation, la matière organique présente dans le substrat ne devrait pas dépasser 5% du poids total ou 10 % du volume²⁶.

La présence de matière organique dans le substrat est toutefois essentielle pour répondre aux besoins nutritifs des végétaux. Elle contribue de plus à la création d'un milieu de vie propice à une diversité de microorganismes. Comme nous le verrons ultérieurement, ces organismes sont impliqués dans le traitement de certains contaminants.

Dimensionnement de la cellule

Les biorétentions retiennent l'eau dans le substrat ainsi que dans la zone de rétention en surface. La zone de rétention en surface est la zone située hors du sol où l'eau peut s'accumuler lors de fortes pluies.

La taille des systèmes de biorétention est déterminée en tenant compte des volumes d'écoulement et des débits de pointe prédéveloppement.

Une analyse doit être effectuée en prenant en compte les variables suivantes ⁵ :

- Caractéristiques de la pluie
- Dimension du bassin versant
- Forme du bassin versant
- Pente du bassin versant
- Canalisations en place
- Type de sol
- Pourcentage de surfaces imperméables

À titre indicatif, pour infiltrer 90 % des pluies annuelles, il sera nécessaire de déterminer l'aire occupée par des sols imperméabilisés au sein de la surface tributaire. La biorétention devrait normalement occuper une surface équivalente à 5-10 % de cette aire ⁵.

Il est essentiel d'adapter les méthodes de calcul de dimensionnement des cellules de biorétention aux conditions climatiques locales. La quantité de neige tombant dans une région donnée ainsi que les épisodes de fonte hivernale sont à prendre en compte.

Une seule unité de biorétention peut gérer les effluents d'une surface tributaire de un hectare ou moins⁵, mais en ayant recours à une approche en chaîne, il est possible de combiner des biorétentions en réseau afin d'intervenir à plus grande échelle. C'est l'approche mise de l'avant par des villes comme Portland et New York aux États-Unis (voir section II pour plus de détails à cet égard).

Longueuil



Exemple d'une cellule de biorétention inondée. Cette cellule, construite sur le site du MEC Longueuil, draine une surface tributaire de 3890 mètres carrés¹⁹.

New York



Exemple d'une cellule de biorétention par temps sec. Cette cellule est située à New York. Bien que la cellule draine une petite surface, elle a été conçue comme une partie d'un tout qui permet la gestion d'un large territoire prenant en compte l'ensemble d'un bassin versant²³.

5.2 OBJECTIFS LIÉS À LA QUALITÉ DE L'EAU

Outre les objectifs de nature hydrologique, les biorétentions servent aussi à améliorer la qualité de l'eau. Il s'agit en résumé de réduire les charges de polluants transportés par les eaux de surface vers les cours d'eau naturels.

En ville, la majorité de l'eau qui transite à travers les biorétentions a préalablement circulé sur des surfaces imperméabilisées potentiellement contaminées. Les eaux de ruissellement se chargent alors de différents polluants dissouts ou particulaires, en plus d'accumuler de la chaleur en passant sur des surfaces pouvant être très chaudes. Les principales sources de pollution sont ^{5,51} :

- Les matières en suspension (MES);
- Les engrais (azote et phosphore);
- Les métaux lourds;
- Les sels de déglçage;
- Les microorganismes pathogènes;
- Les hydrocarbures;
- La chaleur.

Le traitement de ces eaux est donc recommandé afin de préserver la qualité des milieux naturels. Pour ce faire, des processus biologiques et physico-chimiques sont mis à contribution. Une bonne connaissance de ces différents processus est donc nécessaire afin d'assurer le traitement adéquat des eaux de ruissellement.

Enlèvement des matières en suspensions (MES)

Le premier point de contact entre les eaux de surface et la cellule de biorétention se fait au niveau de la couche supérieure de substrat ou encore du paillis lorsque celui-ci a été intégré au design. Selon la quantité d'eau qui pénètre dans le système, les parties aériennes des

végétaux peuvent aussi entrer en contact avec les eaux de ruissellement à ce moment.

Les MES qui se retrouvent dans les eaux de ruissellement peuvent transporter différents contaminants tels que le phosphore, les métaux lourds, les pathogènes et les hydrocarbures. Le traitement des MES se fait à l'aide de deux processus, soit la filtration et la sédimentation.

Le sol agit comme un tamis. Une partie des matières en suspension (MES) est ainsi filtrée par les particules du sol (et du paillis). Une autre partie des MES se dépose par sédimentation en une fine couche à la surface de la cellule ou dans les zones de prétraitement lorsqu'elles sont intégrées au design. L'efficacité de ce traitement dépend alors de la vitesse de circulation de l'eau à travers la cellule. Une infiltration trop rapide réduit la capacité du système à filtrer et sédimenter les MES^{26,64}.

Lorsqu'une quantité importante de sédiments risque de pénétrer dans la cellule, des zones de prétraitements devraient être intégrées au design. Il peut s'agir de bandes filtrantes ou de capteurs de sédiments. Ces systèmes de prétraitement devront être nettoyés régulièrement de manière à assurer le maintien de leur fonction dans le temps.

Finalement, la manière par laquelle l'eau est dirigée dans le système est aussi importante. Idéalement, l'eau devrait être dirigée en nappes, peu profondes et avec un débit lent, dans la biorétention afin d'éviter l'érosion du sol à la surface.

Enlèvement de l'azote

L'azote se présente sous différentes formes. La fraction particulaire peut être enlevée en retirant les

MES, mais pas les formes dissoutes. Une partie de l'ammonium NH_4^+ ou des nitrates NO_3^- présents dans la biorétention peuvent être directement assimilés par les végétaux.

Les végétaux jouent un rôle important dans la gestion de l'azote au sein des biorétentions. Ce sont les espèces ayant un réseau étendu de racines fines qui seront plus efficaces dans l'enlèvement des nitrates présents dans le ruissellement³³.

D'autre part, si l'on cherche à enlever l'azote présent dans le ruissellement, il faut minimiser tout apport d'azote autre que dans la biorétention. Les végétaux associés à des bactéries fixatrices, comme la famille des *Leguminosae* ou *Elaeagnus angustifolia* (Olivier de Bohême), seraient donc à éviter³³⁻⁸⁰.

Finalement, les parties aériennes mortes à l'automne devront être enlevées afin d'éviter la décomposition au sein de la cellule et donc la remise en circulation de l'azote.

L'azote est un élément qui se présente sous diverses formes dans le ruissellement et les sols, et chacune aura des comportements différents dans une biorétention. L'ammonium qui ne sera pas absorbé directement par les végétaux ou volatilisé sous forme de gaz pourra être fixé aux particules du substrat (adsorption) ou encore transformé par bactéries nitrificatrices d'abord en nitrites (NO_2^-), puis en nitrates (NO_3^-).

D'autres bactéries, appelées dénitrifiantes, peuvent contribuer à l'enlèvement des nitrates dans la biorétention. C'est un processus qui se déroule dans un milieu sans oxygène, donc favorisé en zone saturée d'eau³³, et en présence de sources de carbones pour alimenter les bactéries, notamment les exsudats racinaires sucrés des plantes. Si les conditions sont

favorables, les bactéries dénitrifiantes transformeront les nitrates en azote atmosphérique (N_2). Cette forme d'azote est un gaz inoffensif faisant partie de la composition naturelle de l'atmosphère terrestre^{26,54}.

La dénitrification est un processus plutôt lent et davantage ralenti dans les environnements froids. Si la présence d'azote est importante, il est préférable de ne pas dépasser un taux d'infiltration de plus de 0.014 mm/s²⁶. Par ailleurs, du N_2O , un puissant gaz à effet de serre issu de la transformation des nitrates en azote atmosphérique, pourrait être formé lorsque les conditions ne sont pas favorables à la dénitrification complète (présence d'oxygène).

Enlèvement du phosphore

Il existe plusieurs sources de phosphore allant des déjections animales aux détergents en passant par les émissions des voitures et l'utilisation d'engrais⁵⁶. Le choix d'un substrat faible en matière organique n'augmentera pas la quantité totale de phosphore présente dans l'eau à la sortie du système.

La présence de phosphore dans l'eau à la sortie de la biorétention est aussi influencée par l'intensité et la durée des précipitations⁵⁶. Les précipitations intenses peuvent limiter le temps de contact entre le phosphore et les éléments épurateurs de la cellule. Lorsque la présence de phosphore est problématique, il est suggéré de maintenir un taux d'infiltration situé entre 0,007 et 0,028 mm/s²⁶. D'autre part, la profondeur du substrat devrait être au minimum de 60 cm, mais idéalement de 90 cm ou plus²⁶.

Les microorganismes présents dans la rhizosphère des biorétentions végétalisées contribuent à la rétention du phosphore dans la cellule⁵⁶. Bien que les végétaux puissent absorber une partie du phosphore dissout (phosphates), c'est surtout le substrat qui joue un rôle essentiel dans l'enlèvement du phosphore au sein

des biorétentions. Si le pH est acide, un amendement en fer et en aluminium peut augmenter la capacité du substrat à adsorber, et donc retenir le phosphore. Cette fixation n'est pas nécessairement permanente. En effet, des modifications aux conditions environnementales peuvent remettre certains contaminants en circulation. Pensons par exemple à un changement dans l'acidité du sol ou à une réduction de l'apport en oxygène.

Enlèvement des métaux

Divers métaux peuvent se retrouver dans les eaux de ruissellement notamment: le plomb, le zinc, le cuivre, le cadmium, le chrome, le nickel, le fer et le manganèse. Le paillis et les premiers centimètres du substrat sont des endroits privilégiés pour l'enlèvement des métaux^{26,66}. C'est en favorisant l'adsorption des métaux à la surface du substrat ou la précipitation, puis en favorisant la sédimentation et la filtration des particules que les métaux sont principalement enlevés.

Certains végétaux peuvent aussi à extraire les éléments traces métalliques du sol et les fixer dans leurs tissus, mais la quantité totale ainsi séquestrée demeure limitée dans le contexte d'une biorétention⁶⁶. Dans une étude portant sur la capacité des biorétentions à décontaminer les eaux de fonte de neige en milieu urbain, les végétaux présents dans le système étaient responsables de 2 à 8 % de la réduction des métaux ayant été observée³².

Des espèces reconnues pour leur capacité d'accumulation pourraient être utilisées si elles répondent aux autres critères d'importance dans la sélection des végétaux. Ce choix nécessite toutefois un entretien afin de tailler les parties aériennes. Celles-ci seront compostées ou jetées selon la concentration

de métaux lourds se trouvant dans les tissus. Pour plus d'information sur le sujet, nous vous invitons à consulter la fiche portant sur la phytoremédiation produite par la SQP et disponible sur le site Web de l'association.

Enlèvement des sels de déglçage

Il est possible de retrouver des concentrations particulièrement élevées de sels de déglçage dans les eaux d'écoulement, tout particulièrement en période de dégel³². Ces contaminants proviennent essentiellement du déglçage des routes et ont un impact nocif sur la santé des écosystèmes²⁸. Malheureusement, les biorétentions ont très peu d'impact sur cette forme de contamination^{19,32}. La réduction à la source est donc l'approche à privilégier. C'est la stratégie qui a été retenue par le MEC de Longueuil afin de pouvoir réutiliser l'eau collectée par la biorétention¹⁹.

Lorsqu'une contamination aux sels de déglçage est appréhendée, il est essentiel de sélectionner des végétaux appartenant à une espèce tolérante à ce type de contamination. Mentionnons que les végétaux ont souvent une tolérance variable aux embruns et aux sols salins. Une bonne connaissance du contexte sera nécessaire afin de déterminer le degré potentiel de contamination ainsi que la manière par laquelle les sels de déglçage risquent de pénétrer dans le système. Ces informations affecteront l'étendue de la palette végétale appropriée à un environnement particulier.

Enlèvement des microorganismes pathogènes

Certains microorganismes pathogènes circulent dans les eaux de ruissellement et doivent être éliminés afin de réduire la propagation des infections. Les microorganismes pathogènes peuvent être traités

partiellement ou entièrement dans les premiers centimètres de substrat ²⁶. L'exposition aux rayons ultraviolets, la compétition et la prédation par d'autres microorganismes ainsi que la dessiccation sont des mécanismes favorisant l'élimination des pathogènes ²⁶.

Les rayons UV ayant la capacité d'éradiquer les pathogènes proviennent du soleil, et l'effet est donc concentré à la surface de la biorétention. Si la biorétention est créée de façon à lutter contre la pollution thermique de l'eau, le couvert végétal du sol sera maximisé, ce qui pourrait limiter l'exposition aux rayons solaires et donc la désinfection de l'eau.

Par ailleurs, le temps de rétention dans la cellule affecte aussi l'élimination des pathogènes. Plus l'eau sera infiltrée rapidement et moins la cellule sera efficace dans le traitement des microorganismes. S'il y a des voies d'écoulement préférentielles, visible par la présence de zones d'érosion ou la formation de petits canaux, l'efficacité de la biorétention pourrait être restreinte.

Enlèvement des hydrocarbures

La gestion des hydrocarbures est à la fois mécanique et chimique, reposant sur la filtration et la dégradation. En conditions optimales, plus de 80% des hydrocarbures peuvent être traités au sein d'une cellule de biorétention ^{26,51}.

La présence d'un paillis à la surface de la biorétention contribue de manière importante à la filtration des hydrocarbures qui se retrouvent capturés à la surface des fibres naturelles ^{51,26}. Le paillis doit donc être sélectionné et positionné de manière à éviter qu'il ne flotte à la surface de l'eau lors de l'entrée d'eau dans le système.

Après avoir pénétré la surface du substrat, les eaux de ruissellement entrent en contact avec la rhizosphère. Cette zone d'exploration racinaire est propice aux phénomènes de biodégradation associés à l'activité microbienne. En effet, les racines sécrètent un exsudat qui favorise la prolifération de microorganismes. La dégradation des hydrocarbures est dépendante de la présence de microorganismes capables de métaboliser ces polluants organiques ^{51,52}. Cette biodégradation nécessite de plus un apport suffisant en oxygène ainsi qu'un sol au pH situé entre 6 et 9 ⁵².

Il existe plusieurs types d'hydrocarbures, certains peuvent être aisément traités par biodégradation alors que d'autres sont plus difficiles, voire impossibles, à traiter de cette manière. C'est le cas par exemple des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) qui sont cancérogènes ^{52,53}.

6.0 FONCTIONS ET BÉNÉFICES SECONDAIRES

Les biorétentions offrent certains bénéfices secondaires, dont l'importance varie selon l'aménagement. Ces bénéfices sont parfois appelés des services écosystémiques. Compte tenu de la présence de végétaux dans ces systèmes, ceux-ci contribuent à la captation du CO₂ atmosphérique, à la production d'oxygène et à la régulation thermique (diminution de l'effet de chaleur urbain).

Des bénéfices potentiels additionnels peuvent être offerts par les biorétentions. Ceux-ci ne sont pas toujours présents, le design des systèmes doit être adapté afin de les obtenir. À titre d'exemple, ces systèmes peuvent jouer, à leur échelle, un rôle dans l'augmentation de la diversité biologique en milieu urbain. Les choix effectués en matière de sélection et d'agencement des végétaux affecteront de manière importante le potentiel de ces systèmes à cet égard.

En tant qu'aménagements végétalisés, les biorétentions contribuent de plus au verdissement urbain, ce qui peut entraîner un effet positif sur la qualité de vie des populations.

7.0 SÉLECTION DES VÉGÉTAUX

La sélection des végétaux est une étape essentielle à l'atteinte des différents objectifs visés par l'aménagement des biorétentions. Plusieurs éléments sont à considérer dans cette démarche.

Afin d'augmenter la capacité de résilience du système, la diversité devrait être considérée comme un critère de base à intégrer au processus de sélection dès le départ³³.

Diversité des taxons

- Familles
- Genres
- Espèces

Diversité des formes biologiques

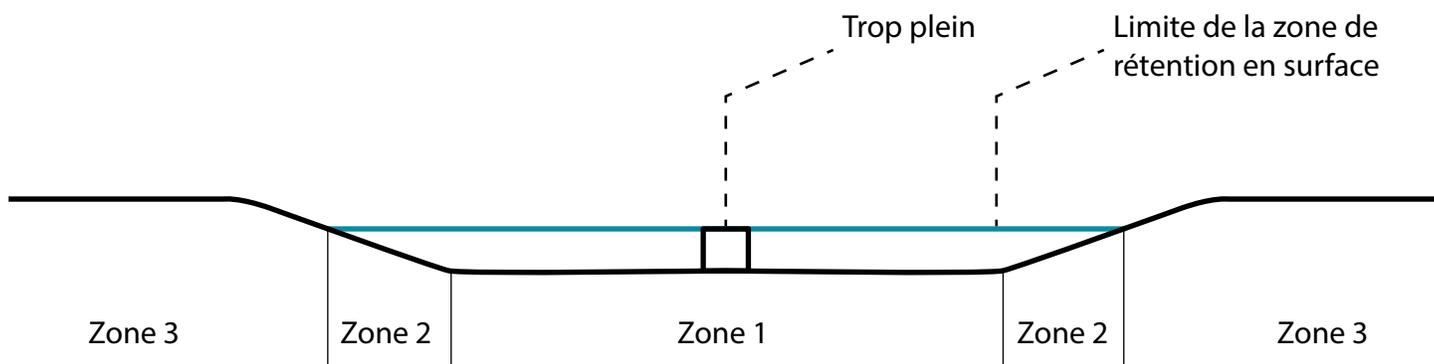
- Plantes herbacées graminoides
- Plantes herbacées non-graminoides
- Arbustes
- Arbres

Diversité de la tolérance à la sécheresse, aux inondations et au sels

Comme il a été mentionné précédemment, la proportion de sable dans le substrat des biorétentions est assez élevée ce qui facilite une évacuation rapide de l'eau. Ces conditions peuvent créer un stress hydrique chez les végétaux qui ne sont pas adaptés à la sécheresse. D'autre part, lors de fortes pluies ou de la fonte des neiges, les biorétentions seront inondées temporairement. Cette variation des conditions hydriques du sol rend la sélection adéquate des végétaux quelque peu complexe.

La quantité d'eau dans le système est non seulement variable dans le temps, en fonction des précipitations, mais aussi dans l'espace⁷.

Figure 6: zones de variation hydrique au sein des biorétentions



La figure 6 illustre la présence de zones de variation hydrique au sein des biorétentions intégrant un système de trop-plein. Ces zones découlent de la topographie ainsi que de la présence d'un trop-plein marquant la limite de la zone de rétention en surface.

Nous pouvons distinguer un minimum de trois zones au sein des biorétentions ⁷.

Zone 1

Cette zone sera la plus sujette aux inondations et les végétaux qui y seront implantés devront tolérer l'immersion de leur système racinaire ainsi que de leurs parties aériennes. Lors des pluies de plus faible envergure, cette zone risque d'être la seule réellement humide. Elle s'asséchera toutefois entre les périodes de précipitation.

Zone 2

Cette zone est située dans une pente et par conséquent elle sera généralement asséchée. Les végétaux qui y seront implantés pourront toutefois être soumis à une inondation occasionnelle du système racinaire.

Zone 3

Cette zone est située hors de la zone de rétention en surface. La présence d'un trop-plein évitera à l'eau de s'y accumuler. En cas de fortes précipitations en un court laps de temps, la zone pourrait subir une certaine inondation, mais elle sera de courte durée puisque l'eau sera rapidement évacuée. Par conséquent la tolérance

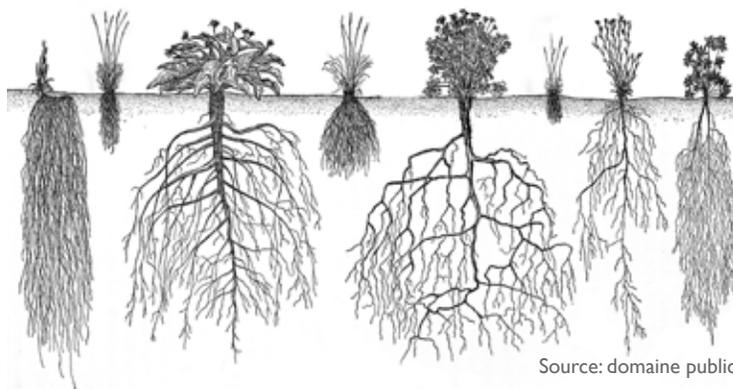
aux inondations n'est pas un facteur décisif pour la sélection des végétaux à planter dans cette zone.

Les biorétentions seront plus efficaces dans l'atteinte des objectifs hydrologiques et de qualité de l'eau si ³³ :

- Le réseau racinaire des végétaux colonise l'ensemble du substrat sur le plan horizontal comme vertical.
- La couverture végétale est dense et met de l'avant une stratégie de plantation axée sur l'aménagement de plusieurs strates végétales.

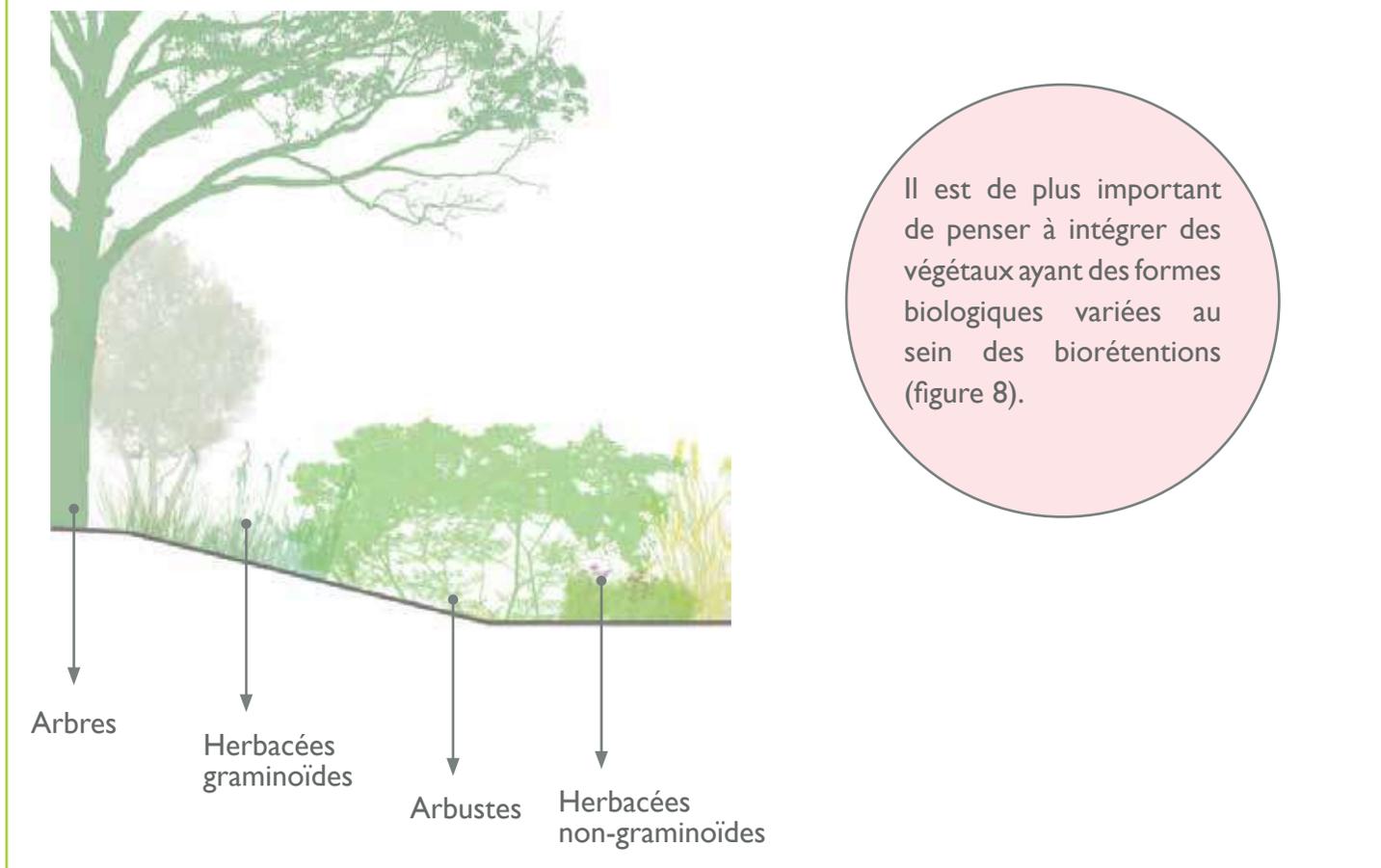
Pour y arriver, il est essentiel d'allier des végétaux aux réseaux racinaires complémentaires.

Figure 7: diversité des réseaux racinaires



Source: domaine public

Figure 8: diversité des formes biologiques



Les caractéristiques des réseaux racinaires des espèces sélectionnées peuvent être analysées en tenant compte des éléments présentés dans le tableau 1 ici-bas. Les tableaux 2 à 4 détaillent les principaux rôles joués par les végétaux selon leur forme biologique, soit: herbacée graminoidé, herbacée non-graminoidé, arbuste et arbre.

Les facteurs influençant les fonctions hydrologiques et de qualité de l'eau devraient guider dans un

premier temps la sélection des végétaux. Par contre, il est tout à fait possible de pousser la démarche de sélection plus loin afin d'intégrer par la suite d'autres facteurs discriminants. Un certain nombre d'éléments concernant la biodiversité, l'acceptabilité sociale et l'appréciation paysagère ont été intégrés dans les tableaux 2 à 5.

Tableau 1: caractéristiques du réseau racinaire à rechercher ³³	
Objectif visé	Caractéristiques
Hydrologique	Mixité des types de racines afin d'éviter le colmatage du système (ex. racines structurales des arbres versus racines fines des Carex)
Qualité de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Racines formant un tapis dense • Racines fibreuses • Racines favorisant l'activité microbienne • Importante masse racinaire

Tableau 2: rôles et usages des herbacées graminoides ³³

Taxons	Rôles	Objectifs
Famille des <i>Poaceae</i>	Stabilisation des sols	Hydrologiques et qualité de l'eau
	Trappe à sédiments	Hydrologiques
	Alimentation potentielle pour la faune	Biodiversité
Genre <i>Carex</i> et <i>Juncus</i>	Accumulation de nutriments ⁺	Qualité de l'eau
	Système racinaire favorisant la présence dans le sol de bactéries participant à la décontamination	Qualité de l'eau
	Trappe à sédiments	Hydrologiques
	Contrôle des plantes adventices	Acceptabilité sociale/ appréciation paysagère

⁺ les *Carex* et les *Juncus* sont les genres les plus adaptés pour jouer ce rôle au sein des biorétentions.

Tableau 3: rôles et usages des herbacées non-graminoides ³³

Rôles	Objectifs
Stabilisation des sols	Hydrologiques et qualité de l'eau
Esthétique	Acceptabilité sociale/ appréciation paysagère

Tableau 4: rôles et usages des arbustes ³³

Rôles	Objectifs
Stabilisation des sols	Hydrologiques et qualité de l'eau
Accumulation de nutriments	Qualité de l'eau
Habitat et alimentation pour la faune	Biodiversité
Esthétique	Acceptabilité sociale/ appréciation paysagère
Offrir de l'ombre aux végétaux des strates inférieures et réduire la pollution thermique	Qualité de l'eau

Tableau 5: rôles et usages des arbres ³³

Rôles	Objectifs
Augmenter la capacité d'infiltration et d'évapotranspiration du système	Hydrologiques
Stabilisation des sols	Hydrologiques et qualité de l'eau
Esthétique	Acceptabilité sociale/ appréciation paysagère
Offrir de l'ombre aux végétaux des strates inférieures et réduire la pollution thermique	Qualité de l'eau

Compte tenu de l'implantation récente des biorétentions au Québec, il n'existe pas encore de liste de végétaux élaborée à partir de données de recherches effectuées localement. Les végétaux présentés dans cette liste n'ont donc pas été sélectionnés à partir d'analyses de performance effectuées au sein de biorétentions québécoises. Il s'agit

plutôt d'une liste non exhaustive de végétaux dont la sélection repose sur la tolérance à certains stress souvent retrouvés au sein des biorétentions. Il s'agit donc d'une proposition appelée à être modifiée dans le temps avec l'arrivée de nouvelles données.

Tableau 6: exemples de quelques végétaux adaptés aux biorétentions

Forme biologique	Famille	Espèce	Zone*	Sel déglçage	Sécheresse	Ensoleillement
Herbacées graminoïdes	<i>Poaceae</i>	<i>Elymus canadensis</i>	1-2	H	M-H	
		<i>Andropogon gerardi</i>	1-2	M	H	
		<i>Calamagrostis canadensis</i>	1	M	B-M	
	<i>Juncaceae</i>	<i>Juncus tenuis</i>	1-2	H	M	 
	<i>Cyperaceae</i>	<i>Carex vulpinoidea</i>	1	M	M-H	
		<i>Carex aurea</i>	3	M	B-M	 
Herbacées non-graminoïdes	<i>Asteraceae</i>	<i>Symphyotrichum novi-belgii</i>	2	H	M	 
		<i>Achillea millefolium</i>	3	M	H	
		<i>Eutrochium maculatum</i>	1	M	M	
Arbustes	<i>Rosaceae</i>	<i>Physocarpus opulifolius</i>	2-3	H	H	 
		<i>Aronia melanocarpa</i>	2	M-H	M-H	 
	<i>Salicaceae</i>	<i>Salix discolor</i>	1-2	M	M-H	 
Arbres	<i>Quercus</i>	<i>Quercus macrocarpa</i>	2-3	M-H	H	
	<i>Pinaceae</i>	<i>Larix laricina</i>	2	H	H	
	<i>Cannabaceae</i>	<i>Celtis occidentalis</i>	2-3	M	M	

Tolérance H: haute M: moyenne F: faible

Source des données: référence 7,47,51,76,77,78

Ensoleillement



Plein soleil



Tolérance à la mi-ombre

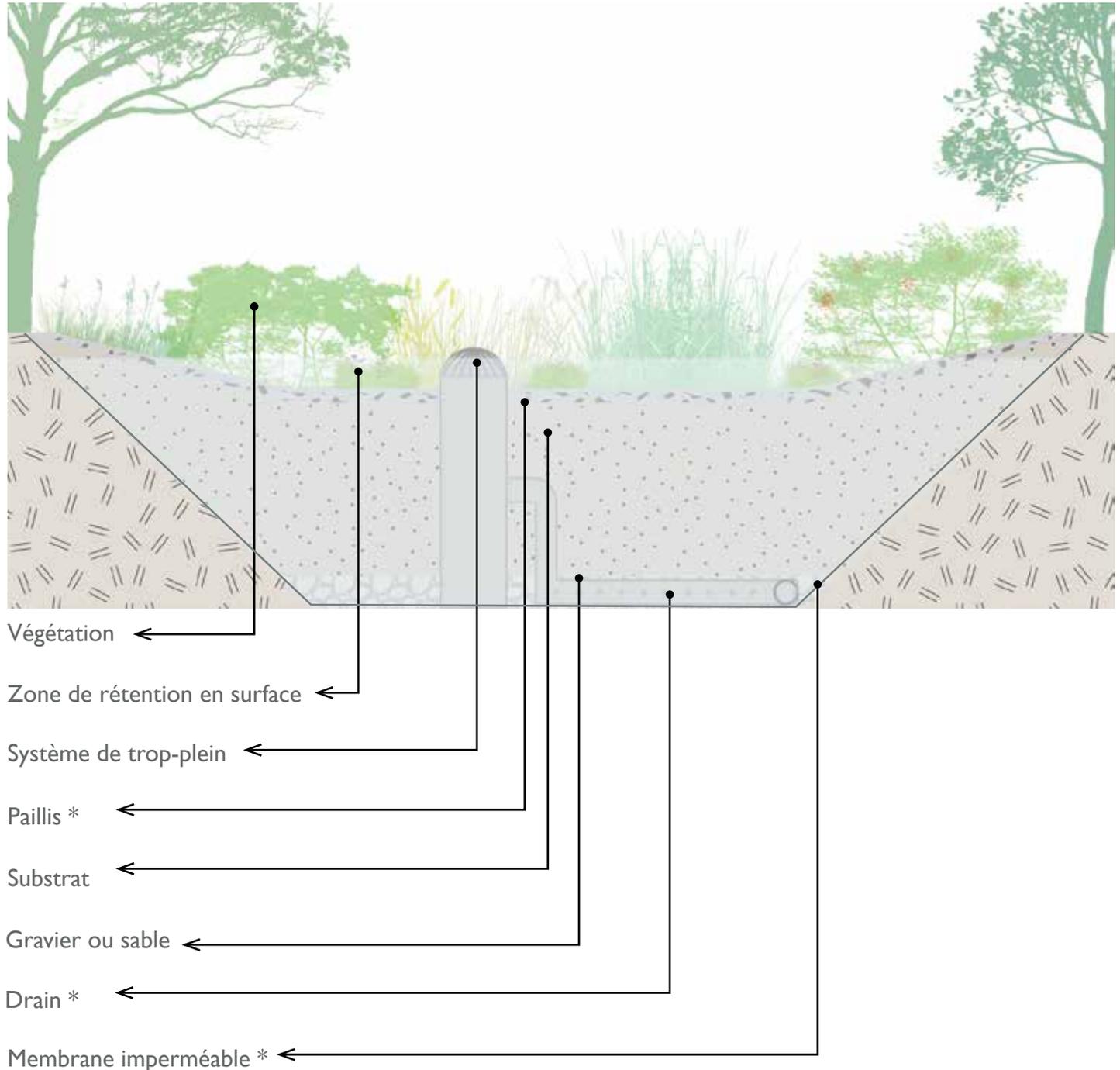
* Ceci fait référence à la zone de plantation au sein de la biorétention (voir figure 6) et non pas à la zone de rusticité.

8.0 COMPOSANTES DU SYSTÈME

Le bon fonctionnement des biorétentions repose sur la présence de composantes de prétraitement, de composantes obligatoires ainsi que de composantes optionnelles. Les composantes obligatoires que sont

la zone de rétention en surface, la végétation, le paillis et le substrat ont été discutées préalablement. Nous aborderons donc dans la présente section les composantes qui n'ont pas encore été présentées.

Figure 9: composantes d'une cellule de biorétention



* Composantes retrouvées dans certaines biorétentions, en fonction des conditions du site et des objectifs visés.

8.1 COMPOSANTES DE PRÉTRAITEMENT

Les composantes de prétraitement interviennent en amont de l'entrée d'eau dans la cellule de biorétention.

La vitesse d'infiltration, un élément critique du design des biorétentions, peut être réduite par une surcharge de sédiments. En effet, le dépôt de matières en suspension peut réduire la porosité du substrat et donc limiter la vitesse d'infiltration.

Ces pièges à sédiments collectent une partie des matières en suspension avant leur entrée dans la cellule. La marche à suivre afin de nettoyer ces systèmes varie selon l'option retenue: bandes filtrantes végétales, puisards, trappes à sédiments, drain de gravier ⁴¹. Dans tous les cas de figure, il sera moins coûteux de faire l'entretien de ces systèmes que de devoir remplacer un substrat colmaté. En plus de l'achat de nouveau substrat, cette option de dernier recours entraînera des coûts liés à la machinerie, au labeur ainsi qu'au remplacement de végétaux endommagés lors des travaux de réfection.

8.2 COMPOSANTES OPTIONNELLES

Le paillis

La présence d'un paillis contribue à limiter l'impact des coups d'eau sur le sol et donc réduire la circulation des sédiments dans le système. En plus d'offrir une protection contre l'érosion, elle permet la séquestration des hydrocarbures ²⁶. Un paillis efficace ne doit pas flotter ou être emporté par le ruissellement. Une couche de paillis de 7.5 à 10 cm est recommandée, mais non obligatoire.

Les membranes

Une membrane imperméable est parfois intégrée au système lorsqu'il y a risque de contamination de la nappe phréatique ou lorsque la texture du sol in situ ne permet pas l'infiltration sur place.

Certains systèmes qui permettent la percolation de l'eau dans le sol intègrent une membrane perméable entre la couche de gravier du fond de la cellule et le sol existant. L'exemple de New York, illustré à la section 11.5, en est un exemple.

Le drain

La présence d'un drain varie selon les objectifs du système et les conditions du site. Lorsque le sol est peu perméable, un drain devra être intégré de manière à respecter le temps d'évacuation nécessaire à l'atteinte des objectifs. Dans le même ordre d'idées, si une membrane imperméable est posée, un drain devra l'être aussi. Le drain devrait être localisé dans un lit de gravier profond d'au moins 30 cm ⁴. Il devra de plus être positionné à un minimum de 10 cm du fond de la cellule⁷. Ce lit de gravier devrait être constitué de pierres de 5 cm de diamètre ⁴.

Système de trop-plein

Dans la majorité des projets implantés dans l'espace public, un système de trop-plein permet d'évacuer les excès d'eau vers le réseau d'égout. Dans certains sites où l'eau est faiblement contaminée, il pourrait être envisageable de laisser l'eau déborder hors du système afin d'augmenter la surface de rétention lors de fortes pluies. C'est le cas du système aménagé sur le site du MEC Longueuil ¹⁹. Le système de trop-plein devrait être en mesure de gérer les surplus d'eau qui ne sont pas traités par la biorétention. Des normes canadiennes sont actuellement en développement afin de cibler plus précisément quelle récurrence de pluies devrait être gérée par les biorétentions.

9.0 CONSTRUCTION, SUIVI ET ENTRETIEN

9.1 QUELQUES CONSEILS DE CONSTRUCTION

Compaction du sol

La compaction limite l'infiltration et ralentit la vitesse de circulation de l'eau dans le système ainsi que dans le sol sous-jacent pour les cellules qui le permettent.

Pour limiter la compaction lors des travaux:

- La machinerie ne devrait pas circuler à l'intérieur de la future zone de biorétention. S'il est impossible de faire autrement, un ingénieur en sol pourra recommander les mesures à prendre pour compenser l'impact de la machinerie ⁵¹.
- Lors de l'excavation du sol, il est recommandé de râtelier le fond de la cellule plutôt que de le lisser comme c'est le cas dans des travaux traditionnels d'excavation. Cette technique limite la compaction et favorise donc la percolation de l'eau dans le sol ²⁶.

Gestion de l'eau

En période de construction, le système de biorétention est particulièrement à risque d'érosion. Selon les phases, le sol peut être à nu ou encore recouvert de végétaux peu développés, ce qui limite leur capacité à réduire l'érosion. Ainsi, en cas de forte pluie, l'érosion du sol peut conduire à un colmatage du système par le biais des sédiments transportés dans l'eau. C'est pourquoi l'eau de ruissellement devrait être détournée de la zone de construction durant les travaux ainsi qu'au cours de la phase d'établissement des végétaux afin d'éviter cette situation. Des barrières temporaires devraient être implantées afin de détourner l'eau des entrées

de la biorétention⁷. Ces barrières peuvent prendre différentes formes telles que des poches de sable qui seront enlevées lorsque le système sera suffisamment mature pour gérer les coups d'eau. En effet, une fois les végétaux bien implantés, ceux-ci devraient être en mesure de protéger le sol de l'érosion.

9.2 PLAN D'ENTRETIEN ET DE SUIVI

Pour être efficaces, les biorétentions doivent faire l'objet de suivis et d'entretiens tout au long de leur cycle de vie. Un plan de gestion détaillé devrait être produit de manière à encadrer le travail de l'équipe d'entretien sur le terrain.

Un tel plan devrait contenir les sections suivantes

- Calendrier d'entretien des végétaux
- Liste de contrôle portant sur les tâches d'inspection
- Liste de contrôle portant sur les tâches d'entretien

Nous avons inclus à l'annexe I quelques tableaux synthétisant des aspects essentiels à prendre en compte dans l'élaboration d'un plan d'entretien et de suivi. Il ne s'agit toutefois pas d'une liste exhaustive. Pour plus d'information à cet égard, nous recommandons la consultation du guide produit par le Minnesota Pollution Control Agency ⁵⁰ ainsi que le guide produit par le comté de Prince George ⁵¹.

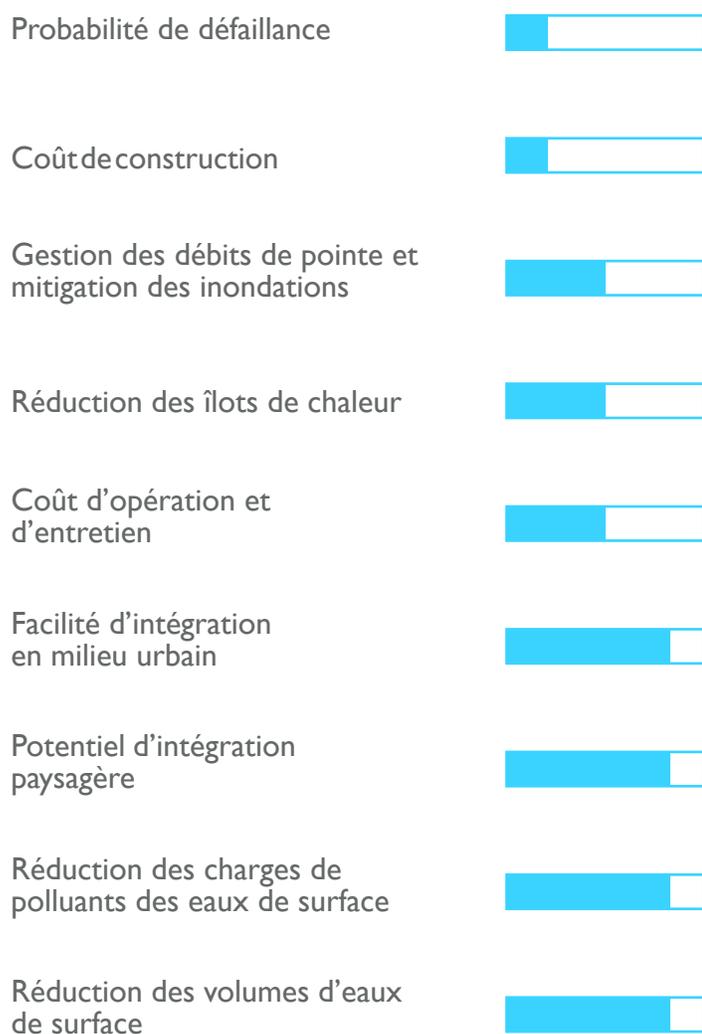
10.0 AVANTAGES ET LIMITES

Le tableau suivant présente une synthèse des avantages et des limites associés aux biorétentions ⁴¹. On constatera aisément à quel point les biorétentions sont avantageuses pour les municipalités soucieuses de gérer les eaux pluviales de manière durable et à faible coût comparativement aux infrastructures traditionnelles. L'empiètement au sol de ces systèmes est toutefois relativement élevé, particulièrement lorsque comparé aux systèmes traditionnels qui sont enfouis. Dans certains cas, ceci peut constituer une contrainte importante. Plutôt que de chercher à

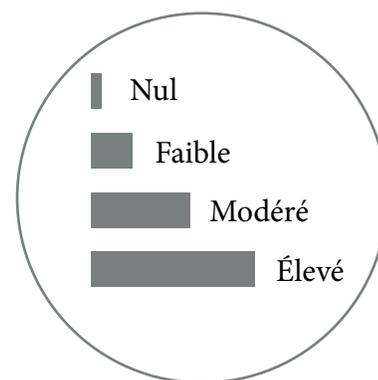
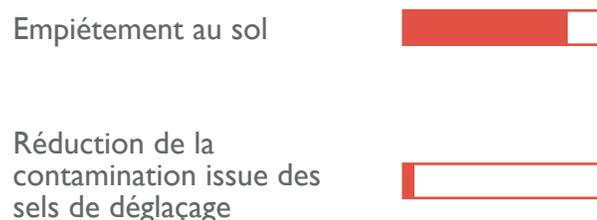
gérer une grande quantité d'eau à travers une seule infrastructure, il est toutefois possible d'opter pour une approche en chaîne. Cette approche est tout à fait compatible avec l'aménagement des villes occidentales puisque les biorétentions peuvent occuper l'espace traditionnellement réservé aux fosses de plantations d'arbres. La seule limite qui ne puisse pas être contournée pour le moment concerne les sels de déglacage qui ne sont pas traités par les biorétentions

^{19,28,32}.

AVANTAGES



LIMITES



Ce tableau reprend une analyse effectuée par Philadelphia Water dans le guide sur la gestion des eaux pluviales élaboré par cet organisme⁴¹.

10.1 RAPPORT COÛT/BÉNÉFICE

Les solutions traditionnelles de gestion des eaux pluviales reposent sur la construction de conduites d'égouts surdimensionnées ainsi que sur l'intégration de voûtes de plastique thermoformées sous terre pour retenir l'eau dans les canalisations. L'aménagement de telles infrastructures grises entraîne des coûts importants, pouvant aller jusqu'à 1 000\$ par mètre cube ⁵⁹.

Les infrastructures grises servent une seule fonction, soit la rétention des volumes accrus lors des événements de pluie plus importants. Les infrastructures vertes, ou naturelles, offrent quant à elles des services à la société en dehors des périodes de précipitations abondantes. Une étude parle de plus de 20 bénéfices sociaux et environnementaux additionnels potentiels⁴⁶. En considérant la valeur des infrastructures naturelles sous cet angle, le retour sur investissement est d'autant plus intéressant.

Malheureusement, ces services écosystémiques ne sont pas toujours pris en compte dans les études. Ainsi, certains auteurs évaluent les coûts de construction et d'entretien seulement alors que d'autres considèrent la valeur économique des bénéfices sociaux, culturels et environnementaux découlant des infrastructures naturelles ^{25,46}.

Bien que les méthodes de calcul diffèrent, les données disponibles démontrent qu'il est habituellement plus avantageux sur le plan financier de recourir aux infrastructures naturelles plutôt qu'aux infrastructures grises.

À titre d'exemple:

- Pour la ville de Portland, l'aménagement de rues vertes incluant des biorétentions est 40% moins cher qu'une approche traditionnelle ⁴⁴.
- Selon une étude sur les plans de développement à faible impact (Low Impact Development), les avantages dépassent de 3 à 5% les coûts liés aux infrastructures vertes comparativement aux approches traditionnelles de développement (analyse coût-avantage)⁴⁶.
- Une autre étude basée sur l'analyse de 17 projets parle d'une diminution des coûts de 15 à 80 % ²⁵.
- Au milieu des années 2000, un projet de biorétention a été implanté dans un stationnement de la ville de Bellingham (État de Washington, États-Unis). En se basant sur les coûts d'autres projets traditionnels similaires, une réduction des coûts de l'ordre de 80% aurait été constatée, ce qui équivaut à 8 \$/m³ comparativement au 39 \$/m³ habituel ^{25,49}.
- Un exemple québécois va dans le même sens. Le réaménagement de la rue Saint-André à Granby a permis à la municipalité d'économiser 1000\$ le mètre linéaire de rue comparativement à un projet traditionnel d'infrastructures sous-terraines⁶⁰.

De manière générale, il est possible de s'attendre à déboursier entre 180 et 290\$ le mètre carré pour un projet de biorétention au Québec⁶⁰. Différentes stratégies peuvent toutefois être utilisées afin de réduire les coûts engendrés par la construction de ces infrastructures naturelles ^{17,25}.

Les municipalités peuvent par exemple mettre en place des programmes incitatifs afin d'encourager les individus, les entreprises et les institutions à gérer les eaux pluviales à même leurs propriétés^{17,34,58}. Pour de plus amples informations à cet égard nous vous recommandons la consultation du rapport « New Solutions for Sustainable Stormwater Management in Canada » publié par l'Institut pour l'IntelliProsperité⁵⁸. Ce document offre un portrait d'ensemble des frais associés à la gestion des eaux pluviales et outille les municipalités désirant mettre en place des solutions axées sur les infrastructures naturelles.

Une approche de planification concertée des travaux peut d'autre part contribuer à la réduction des coûts. Ainsi, en faisant concorder la construction des biorétentions avec d'autres travaux de réfection des rues ou des réseaux d'aqueduc et d'égouts déjà planifiés, les coûts seront grandement réduits¹⁷. À titre d'exemple, des aménagements paysagers traditionnels sont souvent implantés au sein des saillies de trottoirs nouvellement aménagées afin d'améliorer la sécurité des piétons. La photographie ci-bas (I) en est un exemple.

Compte tenu de la rareté des terrains au coeur des grandes villes, de tels aménagements constituent une occasion intéressante de développer un réseau de gestion des eaux pluviales en misant sur de plus petites interventions. Une petite enquête menée par le Devoir en septembre 2017 nous apprend que plusieurs municipalités et arrondissements réfléchissent déjà à la question⁷⁵. À titre d'exemple, l'arrondissement du Plateau-Mont-Royal a commandé une étude à cet égard à l'École Polytechnique de Montréal. Les résultats seront connus en 2018, ce qui permettra de mieux planifier les interventions en matière de gestion des eaux pluviales.

Outre les saillies de trottoir, d'autres milieux pourraient accueillir des biorétentions. Les endroits où l'on observe des problèmes de drainage constituent à cet égard des occasions potentielles d'intégrer des aménagements de gestion des eaux pluviales en milieu urbain. La photographie ci-bas (J) montre l'existence d'une zone d'accumulation d'eau sur la voie pavée à proximité d'aménagements paysagers. Lorsque les ressources seront disponibles pour résoudre ce problème, il serait intéressant de considérer la biorétention parmi les différents scénarios d'intervention.



11.0 EXEMPLES DE PROJETS

11.1 MARCHÉ PUBLIC DE LONGUEUIL

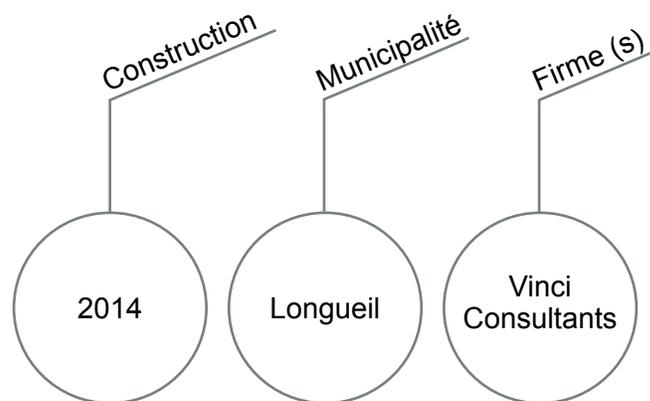
Mise en contexte

Le marché public permanent de Longueuil est un projet de l'Association des producteurs maraîchers du Québec localisé sur un terrain de la ville de Longueuil⁷⁰.

La réglementation de la ville de Longueuil exige une proportion importante de verdissement dans le cadre de projets de constructions de l'ampleur du marché public. Les concepteurs ont proposé de répondre à ces exigences par le biais d'une chaîne de traitement des eaux pluviales. Ainsi, la surface totale d'espaces verts requis par la réglementation est constituée d'infrastructures vertes.

En misant sur une approche de gestion des eaux pluviales respectueuse de l'environnement, les

PROJETS QUÉBÉCOIS



concepteurs ont été en mesure de convaincre la Ville et les citoyens d'accepter la demande des commerçants de positionner un stationnement en façade du bâtiment. Pour les producteurs, un tel accès direct des utilisateurs aux commerces était essentiel à la réussite économique du marché. La permission a été accordée compte tenu de la valeur ajoutée découlant des différentes infrastructures vertes implantées sur le site.



On observe ici le stationnement en façade avec un accès direct au marché. Une zone tampon est créée par les cellules de biorétention entre le stationnement et la voie piétonne.



.....➤ Indique la direction de l'eau, à partir du stationnement vers la biorétention.

Les biorétentions du projet jouxtent le stationnement et drainent un bassin versant de 7350 m². Elles ont été conçues afin de gérer des pluies ayant une probabilité de récurrence statistique de 50 ans ⁷³.

Bien qu'il n'y ait pas de membrane imperméable dans le fond de la biorétention, le sol naturel situé sous les bassins est imperméable ⁷³. Il n'y a donc pas de retour d'eau à la nappe phréatique. Après avoir percolé à travers le substrat, l'eau s'écoule dans un drain perforé situé au fond du système pour être redirigée vers un bassin à niveau permanent (photographie ci-contre).

Le substrat utilisé dans la biorétention est *Natureausol* de Savaria. Ce substrat est considéré comme assez peu percolant par les concepteurs, tout en respectant

les exigences d'ingénierie. Les données actuelles démontrent que lorsque le système est relativement sec, une période de 24 h peut passer après une grosse pluie avant de pouvoir observer l'évacuation de l'eau de la biorétention vers le bassin à niveau d'eau permanent.



Par contre, s'il s'agit d'une deuxième pluie consécutive, il est possible d'observer presque immédiatement une sortie d'eau du système ⁷³.

Outre les infrastructures mentionnées précédemment, on retrouve sur le site des noues végétalisées, une prairie inondable, une tranchée d'infiltration, un bassin sec et une citerne. Cette dernière collecte les eaux provenant de la toiture afin de les réutiliser à l'intérieur du marché ⁶⁹.

Selon Marie Dugué, ingénieur et gestionnaire de projet chez Vinci consultants, il est primordial que les concepteurs de biorétention puissent assurer le suivi pour une période minimale de 1 à 3 ans après la construction des biorétentions ⁷³. En effet, les clients devraient être soutenus dans l'acquisition des connaissances nécessaires à l'entretien adéquat de ces infrastructures. Le manque d'expertise en matière d'entretien des biorétentions peut mener à des décisions inappropriées. Pensons par exemple au déversement d'engrais directement dans une biorétention de manière à augmenter la floraison des végétaux qui s'y trouvent implantés. Ce type de pratique, courante en horticulture, peut être dévastatrice dans un projet de biorétention visant à améliorer la qualité de l'eau.

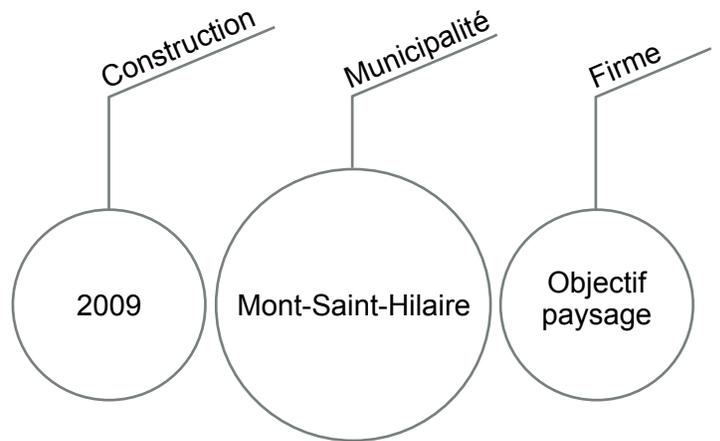
L'intégration des concepteurs dans l'équipe de suivi de ces projets permet de détecter rapidement les problèmes de ce type pour mettre en place les mesures nécessaires afin de maintenir les fonctions essentielles assurées par ces systèmes.

De manière à assurer un entretien adéquat des biorétentions et autres infrastructures vertes, il importe de former une main-d'oeuvre qualifiée et à l'aise avec ce type de système. Le projet du Marché public de Longueuil inclut un partenariat avec un OBNL local afin de former de jeunes décrocheurs à l'entretien des infrastructures vertes. Ces futurs professionnels seront en mesure de développer des pratiques d'entretiens qui ne remettent pas en cause l'atteinte des objectifs hydrologiques et de traitement visés par les biorétentions.

La population a aussi été sensibilisée aux bénéfices de l'approche retenue dans ce projet afin qu'elle connaisse mieux les enjeux liés à la gestion durable des eaux pluviales.

Mise en contexte

La municipalité de Mont-Saint-Hilaire désirait augmenter le nombre de places de stationnement du centre civique tout en gérant les eaux pluviales de manière à ne pas accroître le ruissellement. La firme Objectif paysage a été retenu pour mener ce projet sous la direction de Mélanie Glorieux. Au final, le projet a conduit à l’ajout de 93 places de stationnement.



La stratégie retenue reposait sur l’aménagement de biorétention en lieu et place d’îlots de plantation traditionnels. Les objectifs visés concernaient à la fois la gestion des eaux pluviales et la réduction des îlots de chaleur ⁶⁸.

Les données disponibles démontrent que le système fonctionne bien, et ce même en hiver. Les végétaux intégrés dans le système se développent bien. Les arbustes y seraient même en meilleure santé que ceux plantés hors des cellules de biorétention. D’autre part, le système intègre des arbres. Ceux-ci ont accès à 10 m³ de sol chacun ⁶⁸.



Liste des végétaux utilisés ⁶⁷

ARBRES	ARBUSTES	HERBACÉES
<i>Acer rubrum</i>	<i>Aronia melanocarpa</i>	<i>Symphotrichum laeve</i>
<i>Celtis occidentalis</i>	<i>Caragana arborescens</i>	<i>Symphotrichum novi-belgii</i>
<i>Quercus bicolor</i>	<i>Cornus racemosa</i>	<i>Deschampsia cespitosa</i>
<i>Quercus rubra</i>	<i>Cornus sericea</i>	<i>Monarda fistulosa</i>
<i>Larix laricina</i>	<i>Cornus sericea ‘Flaviramea’</i>	<i>Panicum virgatum</i>
	<i>Myrica gale</i>	<i>Rudbeckia hirta</i>
	<i>Physocarpus opulifolius ‘Dart’s Gold’</i>	<i>Rudbeckia laciniata</i>
	<i>Physocarpus opulifolius ‘Nanus’</i>	<i>Sesleria autumnalis</i>
	<i>Salix interior</i>	<i>Symphotrichum novae-angliae</i>
	<i>Salix petiolaris</i>	<i>Verbena hastata</i>
	<i>Salix purpurea ‘Gracilis’</i>	



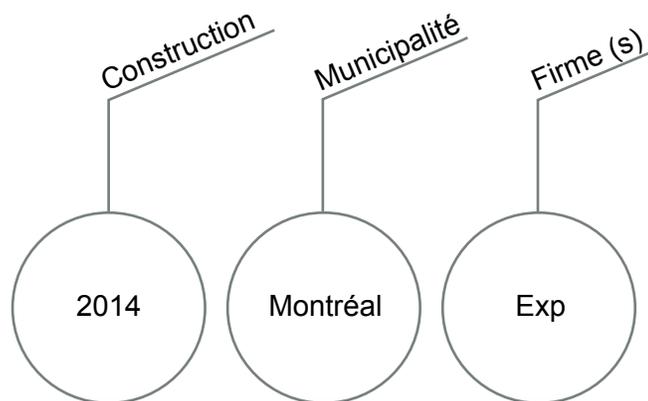
.....> Indique la direction de l'eau, à partir du stationnement vers la biorétention.

11.3 STATIONNEMENT OUMET

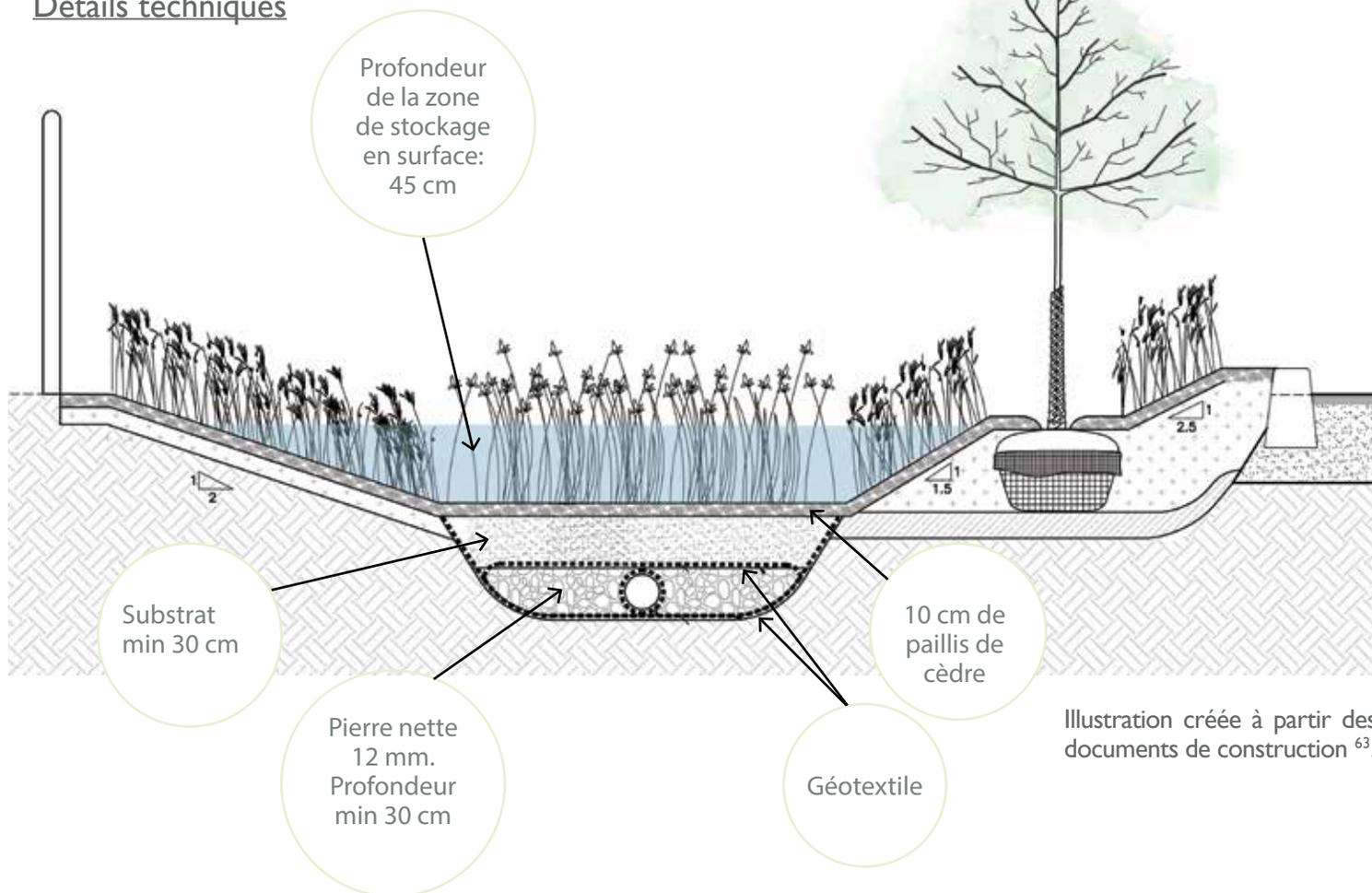
Mise en contexte

L'arrondissement de Saint-Laurent a mis en place un ensemble de réglementations visant à favoriser une meilleure gestion des eaux pluviales. De manière à donner l'exemple, l'arrondissement a mené de nombreux projets incluant plusieurs toitures végétalisées ⁶².

Le projet du stationnement Ouimet découle de l'adoption en 2010 du règlement encadrant l'aménagement des espaces de stationnement axé sur le développement durable ⁶². Le projet visait le réaménagement d'un stationnement en intégrant, entre autres, une cellule de biorétention.



Détails techniques



La biorétention draine les eaux d'un bassin versant d'approximativement 32 000 m² recouvert d'un revêtement de granulés minéraux et d'un liant d'origine végétale ⁶³.



La photographie ci-haut a été prise lors de la construction de la cellule. On voit ici la position du géotextile ainsi que la présence d'un puisard au sein du système.



La photographie ci-haut présente les végétaux fraîchement plantés.



.....> Indique la direction de l'eau, à partir du stationnement vers la biorétention.

Après avoir constaté la mortalité de plusieurs spécimens, la plantation de nouveaux végétaux a eu lieu l'année après la construction du système. La photographie ci-haut présente la situation après 3 ans.



A

Sur la pente longeant la clôture on retrouve une plantation de *Rudbeckia laciniata*.

B

Dans la dépression au coeur de la biorétention, on retrouve une majorité de *Anemonastrum canadense*.

C

Finalement, sur la pente donnant sur le stationnement on retrouve une diversité végétale plus importante. Celle-ci est à la fois constituée de végétaux sélectionnés par les concepteurs et d'espèces à croissance spontanée. Parmi les végétaux d'origine, on observe les *Heuchera* 'Mahogany' ainsi que des fougères qui, selon le tableau de plantation consulté, devraient appartenir à l'espèce *Dennstaedtia punctilobula*.



Différentes espèces peuvent s'implanter spontanément dans les biorétentions, comme dans tout aménagement paysager. On observe par exemple ici la présence de spécimens de l'espèce *Tussilago farfara*. Cette espèce est considérée comme une espèce exotique envahissante par certaines sources ⁶¹. Elle se reproduit par rhizome et peut éventuellement inhiber la croissance d'autres espèces de végétaux moins agressives. Les spécimens observés semblent pour le moment limités à l'écosystème créé par la pierre de rivière. Celle-ci a été étalée dans la pente vis-à-vis des différentes entrées d'eau afin de protéger le système de l'érosion.

Dans les biorétentions, la végétation spontanée ne pose pas nécessairement problème sur le plan du fonctionnement du système. Lorsque des espèces envahissantes s'y implantent, la compétition qui s'en suit peut par contre conduire à la réduction de la diversité végétale au sein de la biorétention.

Il s'agit d'un aménagement localisé à un endroit particulièrement touché par la pollution liée au passage de nombreux véhicules. En effet, le boulevard Décarie comporte ici quatre voies de circulation. Les biorétentions sont situées à l'entrée d'un hôpital achalandé.

Les plans et devis ont été produits par la firme CIMA, mais la Ville de Montréal a demandé à la firme Vinci Consultants d'agir à titre de superviseur lors de l'élaboration des plans ainsi que de la construction ⁷³.

L'eau pénètre dans le système à travers une conduite souterraine à partir de la rue. Elle émerge ensuite au

milieu des biorétentions. Lors du suivi du projet, il a été constaté que ces points d'entrée ont été localisés en des points bas par rapport au reste de la biorétention. Ceci limite la dispersion de l'eau à travers le reste de la cellule puisqu'elle doit atteindre un certain niveau avant de pouvoir s'écouler vers les secteurs végétalisés. Mis à part ce constat, le système est considéré comme efficace ⁷³.

La végétation est composée d'arbres, d'arbustes et de plantes herbacées. Les végétaux sont en bonne santé malgré les conditions urbaines particulièrement difficiles dans le secteur.



Y



Z

Mise en contexte

La ville de New York a lancé en septembre 2010 un plan sur 20 ans intitulé *NY Green Infrastructure plan*³⁴. Cette initiative découle de la volonté de répondre aux enjeux liés à l'importante contamination environnementale découlant des surverses liées au réseau d'égout unitaire⁴⁸. Le plan cherche à réduire de 40% d'ici 2045 la quantité d'eaux usées qui est déversée dans les milieux aquatiques sans traitement préalable³¹.

Pour atteindre cet objectif, la ville a opté pour une approche axée sur les infrastructures vertes. Celles-ci sont aménagées dans des secteurs prioritaires sur des propriétés appartenant à la ville, telles que les rues, les trottoirs, les écoles et les habitations à loyers modiques⁴⁸. Dans les secteurs priorités, des subventions sont de plus disponibles pour aider des organismes et entreprises à implanter des infrastructures vertes sur leurs terrains³⁴.

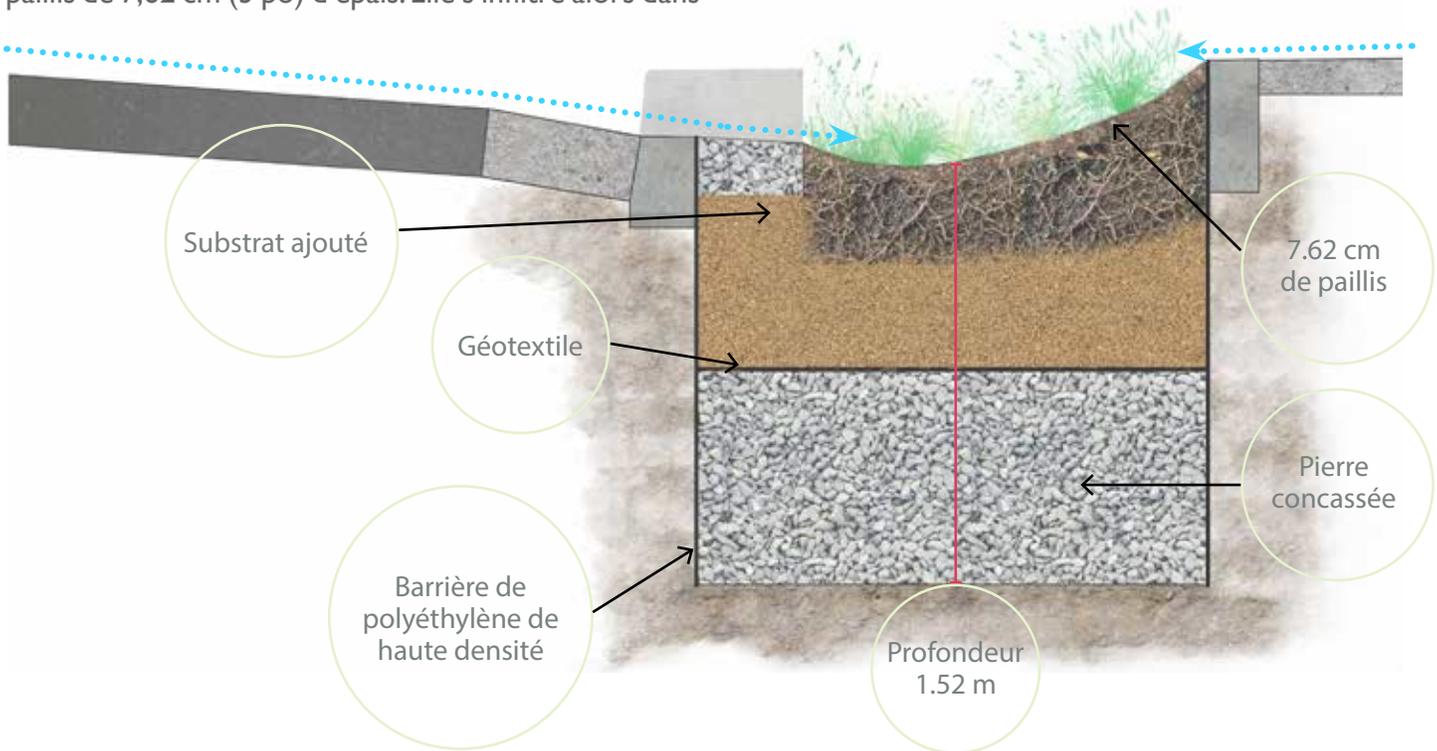


Grâce à ce plan, en date du 25 mai 2016, la ville de New York comptait environ 1000 biorétentions et gérait la construction de 1500 systèmes additionnels. Plusieurs milliers de biorétentions sont en planification et seront construites au cours des prochaines années³⁰.

Détails techniques

Les biorétentions sont d'une profondeur de 1.52 m (5 pi) et peuvent contenir 9 464 l d'eau. L'eau de la rue passe d'abord par un filtre de roche avant d'atteindre la biorétention. Elle circule alors à travers les parties aériennes des végétaux puis passe par une couche de paillis de 7,62 cm (3 po) d'épais. Elle s'infiltré alors dans

un substrat dont la composition n'est pas révélée. Un géotextile sépare cette couche de la couche inférieure qui est constituée de pierre concassée.



Les facteurs suivants semblent avoir contribué au succès de cette démarche ^{23,30,48}

- Une volonté politique de la part du maire de l'époque, Micheal Bloomberg.
- La mise en place d'une approche concertée entre différentes agences municipales sous la coordination d'un département voué à la protection de l'environnement (le *Department of Environmental Protection*).
- Une planification des secteurs d'intervention basée sur une analyse des bassins versants par secteur de déversement.
- Une approche de priorisation basée sur une connaissance approfondie du territoire. Les données de surverses ont été utilisées afin de cartographier les zones tributaires des sections plus problématiques du réseau d'égout unitaire. Ceci a mené à une intervention ciblée par secteur afin d'avoir une réelle influence sur les volumes d'eau. Il s'agit donc d'une réelle approche en réseau plutôt que d'une intervention à la pièce.
- Un suivi scientifique des volumes et de la qualité de l'eau préconstruction et post-construction est effectué. Ceci permettra d'ajuster les pratiques lors du design et de la construction des prochaines infrastructures.

11.6 VILLE DE PORTLAND



Mise en contexte

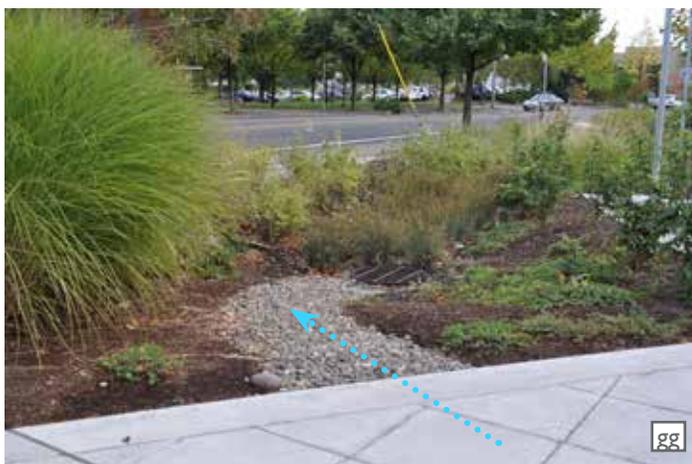
La ville de Portland est reconnue comme une référence nord-américaine en matière de gestion des eaux pluviales. Son programme de rues vertes a d'ailleurs conduit à la répartition de nombreuses biorétentions à travers le territoire de la ville. Trois projets ont d'ailleurs reçu trois prix de l'American Society of Landscape Architects (ASLA)⁴⁵.

Tout comme à New York, l'implantation de ces phytotechnologies découle de la volonté de répondre à l'enjeu des surverses découlant de la présence d'un réseau unitaire de gestion des eaux usées.



Résultats

- Les secteurs dont les eaux de surfaces sont drainées vers des biorétentions diminuent de 80 à 94% leur contribution aux débits de pointe. Dans le cas de Portland, la rivière Willamette était le milieu principalement touché par la contamination ⁴⁴.
- Réduction de 40% des coûts par rapport à un projet de réfection des infrastructures utilisant des approches plus conventionnelles de génie (infrastructures grises versus infrastructures naturelles).



Type de polluant	% de réduction
Matières en suspensions	90 %
Hydrocarbures	90 %
Métaux lourds	+ de 90 %



Présentation du projet

De nombreux projets d'intérêts ont été développés à Portland en dehors du réseau des rues vertes.

L'exemple du complexe d'habitation mixte Headwaters en fait partie. Ce projet Leed argent situé dans le sud-ouest de la ville de Portland a été développé sur un ancien site industriel ²⁹.

Au moment de débiter le projet, une section du cours d'eau Tryon Creek circulait dans des canalisations souterraines sous le site. Ce ruisseau est l'un des tributaires de la rivière Willamette mentionnée précédemment. Le projet a contribué à la restauration de 275 m de ruisseau ainsi qu'à la mise en place de deux acres de prairies humides ²⁹. L'eau provenant d'un secteur commercial situé à proximité est traitée par une biorétention située de l'autre côté des habitations.

Le design des habitations a été pensé de manière à respecter l'environnement tout en offrant aux résidents un milieu de vie de qualité. Le projet inclut des toits végétalisés et des cellules de biorétention de différentes tailles capturant les eaux des zones de stationnement ainsi que des toitures. On ne retrouve pas de pelouse sur le site qui inclut environ 1,2 hectares de terrain aménagé ²⁹. Les plantes ont plutôt été choisies pour leur tolérance à la sécheresse ainsi que leur capacité à aider à la gestion des eaux pluviales.



12.0 RÉFÉRENCES

Photographies

Les photographies suivantes ne peuvent être reproduites à des fins commerciales sans la permission de leurs auteurs:

Chakib Benramdane: S,T

Danielle Dagenais: G,P,EE,FF,GG,HH,II,JJ

Iseult Séguin Aubé: A,B,C,D,U,V,W

Louise Hénault-Ethier: I,J

Objectif paysage: O,Q,R

Vinci Consultants: L,M,N,X,Y,Z

Les photographies suivantes peuvent être reproduites dans le respect des obligations associées aux licence Creative Commons sous lesquelles elles ont été publiées.

D: Bolton, H. (2009). CC4. Repéré à http://s0.geograph.org.uk/geophotos/01/15/72/1157237_cd4fa8da.jpg

F,H, Chris Hamby. (2013). CC BY-SA 2.0. Repéré à <https://www.flickr.com/photos/chrishamby>

E:Volkening,V.(2010). CC BY 2.0. Repéré à <https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/7994695423>

Bibliographie

1. Dagenais, D., Paquette, S, S., Fuamba, M., Besson, L., Spector, A., & Thomas-Maret, I. (2013). Participatory Design of a Decision Aid Tool Integrating Social Aspects for the Implementation of at Source Vegetated Best Management Practices (SVBMPs) at the Neighbourhood Level.
2. Fischlin, A., G.F. Midgley, J.T. Priece, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, ... A.A. Velichko. (2007). Ecosystems, their properties, goods and services. Dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (p. 211-272). Cambridge, UK: Cambridge University Press. Repéré à l'adresse https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/journals/pnw_2007_fischlin001.pdf
3. Gunderson, L. H. (2000). Ecological Resilience - In Theory and Application. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 425-439.
4. Dagenais, D., Paquette, S., Thomas, I., & Fuamba, M. (2014). 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. Repéré à l'adresse http://www.imaginonsnotredelson.ca/wp-content/uploads/2016/01/Dagenais_systemes_vegetalises_2014.pdf
5. Rivard, G., MDELCC, & MAMROT. (2011). Guide de gestion des eaux pluviales stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain. Québec: Gouvernement du Québec. Repéré à l'adresse <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2020783>

6. Reubens, B., Poesen, J., Danjon, F., Geudens, G., & Muys, B. (2007). The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: a review. Springer-Verlag, 385–402. <https://doi.org/10.1007/s00468-007-0132-4>
7. Toronto and Region Conservation Authority, Credit Valley Conservation Authority. (2010). Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide (version 1.0). Repéré à l'adresse http://www.creditvalleyca.ca/wp-content/uploads/2014/04/LID-SWM-Guide-v1.0_2010_1_no-appendices.pdf
8. Stephens, J. et al. (2002). Stormwater planning. A Guidebook for British Columbia. British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection, Vancouver, C.-B.
9. Ville de Montréal. (s. d.). L'eau de Montréal - Réseau d'égouts. Repéré à http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_dad=portal&_pageid=6497,54245574&_schema=PORTAL
10. MDELCC. (2014). Guide d'interprétation du Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées. Repéré à l'adresse <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/guide-interpretation.pdf>
11. Dr Jacques Boisvert (spécialiste des insectes piqueurs). Communication personnelle.
12. Bolton, H. (2009). CC4. Repéré à http://s0.geograph.org.uk/geophotos/01/15/72/1157237_cd4fa8da.jpg
13. Carpenter, D. D., & Hallam, L. (2009). Influence of planting soil mix characteristics on bioretention cell design and performance. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(6), 404–416.
14. Roy-Poirier, A., Champagne, P., & Filion, Y. (2010). Review of bioretention system research and design: past, present, and future. *Journal of Environmental Engineering*, 136(9), 878–889.
15. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (s. d.). Politique de l'eau. Repéré à l'adresse <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/politique/>
16. MAMROT. (2010). Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable - La gestion durable des eaux de pluie - [guide_gestion_eaux_pluie_partie_2.pdf](http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/amenagement_territoire/urbanisme/guide_gestion_eaux_pluie_partie_2.pdf). Repéré 13 mars 2017, à l'adresse http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/amenagement_territoire/urbanisme/guide_gestion_eaux_pluie_partie_2.pdf
17. The Real Cost of Green Infrastructure. (2015). Repéré à <http://stormwater.wef.org/2015/12/real-cost-green-infrastructure/>
18. MDELCC. (2017). Manuel de calcul et de conception des ouvrages municipaux de gestion des eaux pluviales. Repéré à l'adresse <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/EAU/pluviales/manuel-calcul-conception/manuel.pdf>
19. Geheniau, N. (2014). Évaluation expérimentale de la performance d'un jardin de pluie et d'un toit vert en climat froid. École polytechnique de Montréal.
20. Carpenter, D. D., & Hallam, L. (2009). Influence of planting soil mix characteristics on bioretention cell design and performance. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(6), 404–416. Repéré à [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000131](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000131)
21. Maes, J., Liqueste, C., Teller, A., Erhard, M., Paracchini, M. L., Barredo, J. I., ... Lavallo, C. (2016). An indicator framework

for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem Services*, 17, 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.023>

22. Alberti, M., & Marzluff, J. M. (2004). Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems*, 7(3), 241-265. <https://doi.org/10.1023/B:UECO.0000044038.90173.c6>
23. NYC Department of Environmental Protection. (2017-a). Bioswales and Stormwater Greenstreets. Consulté 15 mars 2017, à l'adresse <http://www.nyc.gov/html/dep/html/stormwater/bioswales.shtml>
24. Roy-Poirier, A., Champagne, P., & Filion, Y. (2010). Review of bioretention system research and design: past, present, and future. *Journal of Environmental Engineering*, 136(9), 878-889.
25. United States Environmental Protection Agency. (s. d.). Reducing Stormwater Costs Through Low Impact Development (LID): Strategy and Practices. Consulté 30 mai 2017, à l'adresse <https://www.nrc.gov/docs/ML1102/ML110270042.pdf>
26. Hunt, W., Davis, A. P., & Traver, R. G. (2012). Meeting Hydrologic and Water Quality Goals through Targeted Bioretention Design. *Journal of Environmental Engineering*, 138(6). Repéré à l'adresse [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000504](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000504)
27. Mailhot, A., Beaugard, I., Talbot, G., Caya, D., & Biner, S. (2012). Future changes in intense precipitation over Canada assessed from multi-model NARCCAP ensemble simulations. *International Journal of Climatology*, 32(8), 1151-1163. <https://doi.org/10.1002/joc.2343>
28. Gouvernement du Canada, S. C. (2004). Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Liste des substances d'intérêt prioritaire : Rapport d'évaluation : Sels de voirie (rapport). Repéré à l'adresse http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl2-lsp2/road_salt_sels_voirie/index-fra.php#a3535
29. City of Portland. (s. d.). Headwaters at Tryon Creek. Repéré à l'adresse <http://www.deq.state.or.us/Webdocs/Controls/Output/PdfHandler.ashx?p=6e994e1f-2e68-45aa-8bbf-646ce6d7b6b1.pdf&s=City%20of%20Portland%20fact%20sheet%20on%20Headwaters.pdf>
30. NYC Department of Environmental Protection, & Public Affairs. (2016). City Begins Construction of 321 Curbside Rain Gardens in Sunnyside, Maspeth and Ridgewood... Repéré 17 mai 2017, à l'adresse http://www.nyc.gov/html/dep/html/press_releases/16-047pr.shtml#.WRxqIMZFdhE
31. Mike Bloomberg's Record of Progress: Environmental Protection. (s. d.). Repéré 17 mai 2017, à l'adresse <http://mbprogress.connectionsmedia.com/green-nyc/environmental-protection>
32. Muthanna, T. M., Viklander, M., Blecken, G., & Thorolfsson, S. T. (2007a). Snowmelt pollutant removal in bioretention areas. *Water Research*, 41(18), 4061-4072. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.05.040>
33. Oversby, B., Payne, E., Fletcher, T., Byleveld, G., & Hatt, B. (2014). Vegetation guidelines for stormwater biofilters in the south-west of Western Australia. Repéré à l'adresse https://watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/2016/07/381_Biofilter_vegetation_guidelines_for_southwestWA.pdf
34. NYC Water. (2013). NYC Green Infrastructure. Repéré à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=zrhw2cMTpJs>
35. OURANOS. (2017). Questions-réponses: Inondations mai 2017. Repéré à <https://www.ouranos.ca/questions-reponses-inondations-mai-2017>

36. Mailho, A., & Talbot, G. (2014). Analyse de la corrélation entre fréquences des survereses et pluviométrie. INRS-Eau, Terre et Environnement. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/Rapport-surverse.pdf>
37. INRS-Eau, Terre et Environnement. Données de survereses. (2012). Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/donnees-surverse.xlsx>
38. Ouranos. (2015). Vers l'adaptation: Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Montréal, Québec. Repéré à l'adresse <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SyntheseRapportfinal.pdf>
39. MDDELCC. (2016). Fiche d'information: Exigences relatives à la gestion des eaux pluviales. Consulté à l'adresse http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/fiches/Section02_legal_01_exigences.pdf
40. MDDELCC. (2017). Gestion des eaux pluviales. Consulté 26 mai 2017, à l'adresse <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/>
41. Philadelphia Water. (2015). Stormwater Management Guidance Manual. Consulté à l'adresse https://www.pwdplanreview.org/upload/manual_pdfs/PWD-SMGM-v3-20150701.pdf
42. City of Portland. (2016). Stormwater Management Manual. Consulté 3 mai 2017, à l'adresse <https://www.portlandoregon.gov/bes/article/582086>
43. Massachussets Low Impact Development Toolkit: Fact sheet # 4. Bioretention areas. (s. d.). Repéré à l'adresse http://www.mapc.org/sites/default/files/LID_toolkit_factsheets_4-6.pdf
44. Environmental Services, & City of Portland. (s. d.). Green Street. Consulté 15 mai 2017, à l'adresse <https://www.portlandoregon.gov/bes/article/414873>
45. ASLA. (2017). The Landscape Architect's Guide to Portland, Oregon. Consulté 18 mai 2017, à l'adresse <https://www.asla.org/Portland/#!/water>
46. Foraste, A., Goo, R., Thrash, J., & Hair, L. (2011). Measuring the Cost-Effectiveness of Stormwater Management Plans Using Life Cycle Costs & Performance Metrics. Présenté à Low Impact Development Symposium, Philadelphia. Consulté à l'adresse https://www.l.villanova.edu/content/dam/villanova/engineering/vcase/sym-presentations/2011/10_lforaste.pdf
47. New York City Department of Parks & Recreation. (s.d). Salt-Tolerant Species. Repéré à https://www.nycgovparks.org/sub_about/parks_divisions/gnpc/pdf/salt_tolerant_species_list.pdf
48. NYC Department of Environmental Protection. (2017-b). NYC Green Infrastructure Program. Consulté 17 mai 2017, à l'adresse http://www.nyc.gov/html/dep/html/stormwater/using_green_infra_to_manage_stormwater.shtml
49. Environmental Protection Agency. (2008). Green Parking Lot Guide. Repéré à l'adresse [http://www.streamteamok.net/Doc_link/Green%20Parking%20Lot%20Guide%20\(final\).PDF](http://www.streamteamok.net/Doc_link/Green%20Parking%20Lot%20Guide%20(final).PDF)
50. Minnesota Pollution Control Agency. (2016). Operation and maintenance of bioretention - Minnesota Stormwater Manual. Consulté 16 mai 2017, à l'adresse https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Operation_and_maintenance_of_bioretention&redirect=no

51. Prince George's County.(2007). Bioretention Manual. Repéré à http://www.ct.gov/deep/lib/deep/p2/raingardens/bioretention_manual_2009_version.pdf
52. Das, N., & Chandran, P. (2010). Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnology research international*, 2011. Consulté à l'adresse <https://www.hindawi.com/journals/btri/2011/941810/abs/>
53. Environnement Canada & Santé Canada. (1994). Hydrocarbures aromatiques polycycliques. Ottawa: Environnement Canada. Consulté à l'adresse <http://bibvir1.uqac.ca/archivage/000169918.pdf>
54. Liu, J., Sample, D. J., Bell, C., & Guan, Y. (2014). Review and Research Needs of Bioretention Used for the Treatment of Urban Stormwater. *Water*, 6(4), 1069-1099. <https://doi.org/10.3390/w6041069>
55. European Environment Agency. (s. d.). Ammonia (NH₃) emissions [Indicator Specification]. Consulté 12 juillet 2017, à l'adresse <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-ammonia-nh3-emissions-1>
56. Roy-Poirier, A., Champagne, P., & Filion, Y. (2010). Bioretention processes for phosphorus pollution control. *Environmental Reviews*, 18(NA), 159-173. <https://doi.org/10.1139/A10-006>
57. Kathleen McMeekin et Eco-quartier Saint-Jacques. Réfection écologique et verdissement et verdissement des stationnements (s.d). Repéré à http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/D_DURABLE_FR/MEDIA/DOCUMENTS/STATECOLO_KMCMECOSTJACQUES.PDF
58. O'Neill, S.J et Cairns, S. (2016). New Solutions for Sustainable Stormwater Management in Canada. Smart Prosperity Institute. Repéré à <http://institut.intelliprosperite.ca/sites/default/files/stormwaterreport.pdf>
59. Amarouche, B. (2017). *La gestion des eaux pluviales à Montréal : les défis et enjeux réglementaires*. Communication présentée à la matinée d'échanges - Gestion des eaux pluviales en terrain privé : Pourquoi et comment intervenir dans son stationnement?, Montréal, Québec. Repéré à http://cremtl.qc.ca/sites/default/files/upload/brahim_amarouche.pdf
60. Glorieux, M. (2017). *Les solutions de gestion des eaux pluviales et les coûts associés*. Communication présentée à la matinée d'échanges - Gestion des eaux pluviales en terrain privé : Pourquoi et comment intervenir dans son stationnement?, Montréal, Québec. Repéré à http://cremtl.qc.ca/sites/default/files/upload/solutions_et_couts_mglorieux1_.pdf
61. Environnement et Changement climatique Canada. Programme de partenariat sur les espèces exotiques envahissantes : Rapport 2005-2010. Repéré à http://www.ec.gc.ca/nature/default.asp?lang=Fr&n=B008265C-1#_Toc315269742
62. Benramdane, C. (2017). Communication personnelle. Visite du stationnement Ouimet Sud.
63. Services Exp et Groupe conseil bc2/ Planex consultants. (2014). Document pour construction du projet de stationnement Ouimet Sud.
64. Jurries, D. (2003). BIOFILTERS (Bioswales, Vegetative Buffers, & Constructed Wetlands) For Storm Water Discharge Pollution Removal. Repéré à <http://www.deq.state.or.us/wq/stormwater/docs/nwr/biofilters.pdf>

65. Microbes and disease. (2017). Microbiology Society. Repéré à <http://microbiologyonline.org/about-microbiology/microbes-and-the-human-body/microbes-and-disease>
66. Muthanna, T. M., Viklander, M., Gjesdahl, N., & Thorolfsson, S.T. (2007). Heavy metal removal in cold climate bioretention. *Water, air, and soil pollution*, 183(1-4), 391–402.
67. Glorieux, M. (2011). Système de biorétention. 6e Forum Environnement – FIHOQ. Trois-Rivières. Repéré à <http://www.fihoq.qc.ca/nos-publications/forum-environnement-2011>
68. Objectif paysage. Stationnement écologique, à Mont-Saint-Hilaire. Repéré à <http://www.objectifpaysage.com/municipal/stationnementcentrecivique.html>
69. Fortier, R. (2014). La gestion intégrée des eaux de pluie du marché public de Longueuil. Repéré à <http://www.voirvert.ca/projets/projet-etude/la-gestion-integree-eaux-pluie-du-marche-public-longueuil>
70. Vinci Consultants. (2014). Marché Public, Longueuil. Repéré à <http://www.vinciconsultants.com/index.php/realisations/29-marche-public-longueuil>
71. Gagnon, M. (2014). Le marché public « vert » de Longueuil. Repéré à http://www.portailconstructo.com/actualites/marche_public_%C2%AB_vert_%C2%BB_longueuil
72. Dugué, M., Rouillé, P., & Gendron, M. R. (2015). *ContactPlus*, (92), 10-23.
73. Dugué, M. (2017). Entretien effectué le 15 septembre 2017.
74. Vinci Consultants. (2016). Repéré à <http://www.biopolis.ca/projects/jardin-de-pluie-bioretenion-boulevard-decarie>
75. Gobeille, L. (2017). Le potentiel des saillies végétalisées. Repéré à <http://www.ledevoir.com/plaisirs/jardinage/507921/le-potentiel-des-saillies-vegetalisees>
76. Missouri Botanical Garden. (2017). Plant Finder. Repéré à www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder
77. Toronto and Region Conservation Authority, Credit Valley Conservation Authority. (2010). Master LID Practice Plant List. Repéré à <http://www.creditvalleyca.ca/wp-content/uploads/2012/02/cvc-lid-swm-guide-appendix-b.pdf>
78. North Carolina State University. (s.d.). Salt Tolerant Plants: Recommended for Pender County Landscapes. Repéré à <https://www.ces.ncsu.edu/files/library/71/Salt%20Tolerant%20Plants.pdf>
79. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. Structure du sol. (2009). Repéré à <http://www.omafra.gov.on.ca/IPM/french/soil-diagnostics/soil-structure.html>
80. Ville de Montréal. (2014). Appel d'offres. Repéré à http://applicatif.ville.montreal.qc.ca/som-fr/pdf_offres/pdfof7244.pdf
81. Montpellier SupAgro. (s.d.) Processus écologiques : structure du sol. Repéré à <http://www.supagro.fr/ress-pepites/Opale/ProcessusEcologiques/co/ProcessAgregation.html>

11.0 DROITS DE REPRODUCTION ET REMERCIEMENTS

Date d'émission : 26 avril 2018

Droits d'auteur : Société québécoise de phytotechnologie

Recherche, rédaction et illustrations: Iseult Séguin Aubé, architecte paysagiste (M.A.P.).

Recherche, révision, édition: Louise Hénault-Ethier, Ph. D, chef des projets scientifiques, Fondation David Suzuki

Nous désirons remercier tous les membres du conseil d'administration de la SQP ayant contribué à la révision de cette fiche ainsi que Danielle Dagenais, Ph. D. Professeure agrégée à l'École d'urbanisme et d'architecture de paysage de l'Université de Montréal pour les conseils, commentaires et révisions; les professionnels ayant contribué à l'élaboration des études de cas, notamment Marie Dugay, ing. et Pascal Rouillé, M.Urb. de Vinci Consultants, Chakib Benramdane, de la direction des travaux publics de l'Arrondissement Saint-Laurent et Isabelle Dupras d'Aiglon indigo.

Droits de reproduction à des fins non commerciales

L'information de cette fiche peut être reproduite à des fins personnelles ou publiques non commerciales sans autorisation de la Société québécoise de phytotechnologie (SQP). Les photographies et illustrations fournies ne peuvent faire l'objet d'une reproduction dans tout autre document sans consentement écrit de la part des propriétaires des droits d'auteurs.

Toutefois, les conditions suivantes s'appliquent :

- La source de l'information doit être ainsi citée : Société québécoise de phytotechnologie, Fiches techniques de la SQP. Les biorétentions. 26 avril 2018. www.phytotechno.com
- L'utilisateur doit prendre soin de conserver l'exactitude des documents reproduits.
- La copie ne peut être présentée en tant que version officielle originale.
- La copie ne peut être présentée comme étant faite en affiliation avec la SQP ou avec son aval.

Droits de reproduction à des fins commerciales :

La reproduction à des fins commerciales, en tout ou en partie, de cette fiche et de tout autre document publié par la SQP est interdite sans la permission écrite de la SQP.

SOCIÉTÉ QUÉBÉCOISE DE PHYTOTECNOLOGIE

2030, Boul. Pie-IX, bureau 403

Montréal (Québec) Canada H1V 2C8

PHYTOTECNO.COM

Courriel : info@phytotechno.com

Mise en garde : La présente fiche est un instrument d'information. Son contenu ne constitue aucunement une recommandation, une liste exhaustive de procédés ou de règles en vigueur. Il demeure la responsabilité du lecteur de se référer aux recommandations, procédés et règlements en vigueur, ainsi qu'à toutes autres normes applicables, le cas échéant.

ANNEXE 1 SUIVI ET ENTRETIEN

SUIVIS ET ENTRETIENS LIÉS À LA SANTÉ DES VÉGÉTAUX ^{50,51}

Tâches	Fréquence
Entretien des végétaux : tailler les arbres et les arbustes , remplacer les végétaux morts, désherber	Au besoin
Vérifier la densité des végétaux et le taux de mortalité	En début de saison Après chaque pluie de 25 mm et plus
Arroser	Au besoin durant la phase d'établissement des végétaux (2 premières années)

SUIVIS ET ENTRETIENS LIÉS AU DRAINAGE ^{50,51}

Tâches	Fréquence
Enlever les débris accumulés. S'assurer de vérifier tant la surface de la biorétention que les points d'entrée et de sortie du système.	2 x et plus par année
Par temps sec, vérifier la hauteur de la couche de sédiments accumulée en surface. Si elle dépasse 25 mm, enlever les sédiments.	Au besoin
Vérifier l'intégrité des systèmes de prétraitement. Enlever les sédiments qui y sont accumulés.	2 premières années : 4 x par année 2 x par année par la suite + Après chaque pluie de 25 mm et plus
Vérifier s'il y a présence de chemins préférentiels empruntés par l'eau (en recherchant la présence de canaux en formation, de végétation clairsemée, etc).	
Vérifier s'il y a des signes de piétinement ou de passage par des véhicules	2 premières années : 4 x par année. 2 x par année par la suite.

SUIVIS ET ENTRETIENS LIÉS À LA QUALITÉ DE L'EAU ^{33,50,51}

Tâches	Fréquence
<p>Système pour lequel la filtration du <u>phosphore</u> est prioritaire:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajout d'amendement en fer et en aluminium • Contrôle du pH afin de maintenir un sol acide 	<p>En fonction des analyses</p>
<p>Récolter la biomasse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tailler et jeter les parties aériennes des plantes herbacées et ramasser les feuilles tombées des arbustes et arbres. 	<p>Minimalement 1x par année, à l'automne (plus si besoin)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Si des plantes annuelles ont été intégrées au système, elles doivent être retirées du système au début de l'automne. 	<p>1x par année, à l'automne</p>